

**VŠB- Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2014**

**Jakub Šamaj**

**VŠB- Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského**  
**inženýrství**

**Systém pro měření délky sekundárních bram**

The system for length measurement of secondary steel  
castings

**2014**

**Jakub Šamaj**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Šamaj**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2601T004 Měřicí a řídicí technika  
Téma: **Systém pro měření délky sekundárních bram**  
**The System for Length Measurement of Secondary Steel Castings**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky měření vzdáleností v průmyslových aplikacích.
2. Rozbor problematiky měření délky bram v hutním průmyslu.
3. Návrh systému pro přesné měření délky bram v hutním průmyslu.
4. Realizace systému pro přesné měření délky bram v hutním průmyslu.
5. Návrh a realizace uživatelského rozhraní pomocí operátorského panelu.
6. Testování systému a srovnání naměřených výsledků s teoretickými předpoklady.
7. Zhodnocení dosažených výsledků práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BERGER, Hans. *Automating with STEP 7 in STL and SCL*. 5th revised and enlarged edition. Erlangen, Germany: Publicis Publishing, 2009. ISBN 978-3-89578-341-8.
- [2] BERGER, Hans. *Automating with SIMATIC*. 4th edition. Erlangen, Germany: Publicis Publishing, 2009. ISBN 978-3-89578-333-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

*Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*

*V Ostravě 7. května 2014*

*Šamaj*  
.....

*Jakub Šamaj*

## **Poděkování**

*Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Jiřímu Koziorkovi, Ph.D. za vedení, odborné konzultace a poskytnutí laboratoře pro účely testování při návrhu systému. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňkovi Macháčkovi, Ph.D. za cenné informace v problematice optických dálkoměrů. A v neposlední řadě také panu Ing. Janošíkovi z firmy KMC Group s.r.o v rámci které byl projekt řešen, za technickou podporu, návrh a výrobu mechanických prvků, jednání se zákazníkem a celkové smluvní zabezpečení projektu.*

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá návrhem a realizací systému pro přesné měření ocelových odlitků v hutním průmyslu. Systém se skládá z laserového snímače ILR1183, dvou bezpečnostních optických závor, řídicího PLC S7- 400 a dvou vizualizačních panelů. Laserový snímač komunikuje s PLC pomocí rozhraní PROFIBUS. Řídicí program je napsán programem Step7 od společnosti Siemens. Program zpracovává měřené údaje, vyhodnocuje stavy systému, obsahuje sekvenci pro kalibraci vstupních parametrů a archivuje změřené hodnoty v databázi. Vizualizaci tvoří dva HMI panely, první slouží obsluze zařízení a druhý je pro servisní účely.

## **Klíčová slova**

ILR1183, PLC, PROFIBUS, vizualizace, HMI

## **Annotation**

This thesis deals with design and implementation of systems for accurate measurement of steel castings in the metallurgical industry. The system consists of a laser sensor ILR1183, two safety optical sensor, the control PLC S7-400 and two visualization panels. Laser sensor communicates with the PLC via PROFIBUS. The control program is written STEP7 from Siemens. The program processes the measured data, the system evaluates the conditions, containing the sequence for the calibration of input parameters and archiving measured values in the database. Visualization consists of two HMI panels, the first is used for operating the device and the other is for service purposes.

## **Key words**

ILR1183, PLC, PROFIBUS, vizualization, HMI

## Seznam použitých symbolů a zkratek

CCD	Charge-Coupled Device
CD	Compact Disc
CPU	Central Procesing Unit
DB	Data Block (programování PLC)
DP	Decentralized Periphery
DT	Distance Tracking
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
FB	Function Block (programování PLC)
FBD	Function Block Diagram (programování PLC)
FC	Function (programování PLC)
GSD	General Station Description (programování PLC)
HMI	Human Machine Interface
HW	Hardware
LAD	Ladder Diagram
MPI	Multi Point Interface
OB	Organization Block
OP	Operátorský panel
PC	Personal Computer
PCI	Peripheral Component Interconnect
PLC	Programmable Logic Controller
SFB	Systém Function Block (programování PLC)
SFC	System Function (programování PLC)
STL	Statement List (programování PLC)

# Obsah

1	Úvod .....	1
2	Měřicí pracoviště .....	2
2.1	Stávající metoda měření bram.....	2
2.2	Systém pálicího stroje MESSER.....	2
2.3	Požadavky na měřicí systém a podmínky měření .....	3
2.3.1	Požadavky na měřicí systém .....	3
2.3.2	Výchozí údaje pro měření .....	4
3	Měření vzdáleností v hutním průmyslu .....	5
3.1	Kapacitní snímače .....	5
3.2	Indukčnostní snímače s potlačeným magnetickým polem.....	6
3.3	Magneto – indukční snímače .....	7
3.4	Ultrazvukové senzory.....	7
3.5	Optoelektronické snímače.....	8
3.5.1	Laserový dálkoměr na principu měření doby letu světelného paprsku .....	8
3.5.2	Laserový dálkoměr na principu fázového posunu.....	9
3.5.3	Laserový dálkoměr měřící na základě triangulačního principu .....	9
3.6	Srovnání jednotlivých principů snímačů.....	10
3.7	Výběr principu měření snímače délky bram .....	10
3.7.1	Přístroje využívající ultrazvuku .....	10
3.7.2	Laserové přístroje.....	11
3.7.3	Shrnutí vlastností jednotlivých principů .....	11
3.8	Výběr konkrétního snímače pro měření délky bram .....	12
3.8.1	Snímač ILR 1183 .....	12
3.8.2	Snímač LDM43 .....	13
4	Realizační studie a návrh systému pro měření bram .....	14
4.1	Použitá metoda měření.....	14
4.2	Pracovní cyklus měření s navrženým systémem pro měření bram .....	15
4.3	Systém pro přesné měření délky bram .....	15
4.4	Komunikační sběrnice PROFIBUS DP.....	17
5	Realizace systému pro přesné měření délky bram v hutním průmyslu .....	18



5.1	Použité vývojové prostředí.....	18
5.1.1	Struktura programu ve STEP7 .....	18
5.2	Vlastní program systému měření bram .....	20
5.2.1	Hardwarová konfigurace .....	20
5.2.2	Konfigurační data senzoru ILR1183 .....	21
5.2.3	Online diagnostika senzoru ILR1183 .....	22
5.2.4	Návrh programu pro měření bram pro PLC-S7 400 .....	23
5.2.5	Začlenění systému měření bram do programu pálicího stroje MESSER .....	25
5.2.6	Výpočet délky bramy .....	26
5.2.7	Procesy a stavy zařízení .....	28
5.2.8	Kalibrace .....	28
5.2.9	Databáze bram.....	29
6	Návrh a realizace uživatelského rozhraní systému měření bram pomocí operátorského panelu .....	31
6.1	Operátorský panel OP77B.....	31
6.2	Použitý vizualizační software .....	31
6.2.1	Nastavení komunikace .....	33
6.2.2	Tagy .....	33
6.3	Uživatelské rozhraní systému pro měření sekundárních bram.....	33
6.3.1	Uživatelského rozhraní pro operátory řízení .....	34
6.3.2	Uživatelského rozhraní pro servisní operátorský panel .....	35
7	Testování systému a srovnání naměřených výsledků s teoretickými předpoklady ..	37
7.1	Statická zkouška přesnosti zařízení.....	37
7.2	Zkouška funkčnosti systému .....	38
7.3	Provozní zkouška spolehlivosti systému.....	38
7.4	Úspora materiálu .....	39
8	Zhodnocení dosažených výsledků práce .....	41

## 1 Úvod

Cílem této diplomové práce je navrhnout systém pro měření, vizualizaci a zálohu dat sekundárních bram na výstupu z pálicího stroje. Tento systém je nutno začlenit do stávající technologie a zprovoznit pro kontinuální proces pálicí linky. Systém se skládá z laserového optického čidla, dvou kontrolních jednocestných optických závor, řídicího PLC a HMI panelů.

Brama je polotovar kvádrového tvaru vzniklý kontinuálním odléváním oceli. Pálicí linka, již bude navržený systém součástí, slouží pro přesné řezání primárních bram na různé délky pro následné zpracování ve válcovacích tratích.

Druhá kapitola popisuje měřicí pracoviště, použitou technologii a systém pálicího stroje MESSER. Je zde popsána stávající metoda měření, definovány výchozí údaje a podmínky panující na pracovišti. Na závěr kapitoly jsou shrnuty požadavky na modernizaci měřicího systému.

Ve třetí kapitole je rozebrána problematika měření bram v hutním průmyslu. Specifikace vlivů a prostředí, ve kterém se měření provádí. Na základě těchto podmínek jsou pro metodu měření vybrány bezkontaktní snímače vzdálenosti, ty jsou dále členěny dle principu jejich funkce a následně podrobně popsány jejich vlastnosti. Nakonec kapitoly je vybrán konkrétní typ snímače, který bude použit pro měření.

Dále je provedena realizační studie systému měření bram dle požadavků zákazníka a z této studie je vybrána výsledná koncepce měřicího zařízení. Je zde popsána použitá metoda měření, systém pro měření délky bram a jeho začlenění do stávající technologie. V této kapitole je také popsána průmyslová sběrnice PROFIBUS DP a vše co souvisí s výměnou dat.

V páté kapitole je popsána skutečná realizace systému měření bram, vývojové prostředí použité pro realizaci, obecná struktura programu a programovací jazyky. Dále je pak popsána HW konfigurace, struktura vlastního programu, konfigurační data senzoru ILR1183 a jeho diagnostika. Podrobně jsou zde taky popsány jednotlivé funkce měřicího systému: nastavení parametrů, získání dat, procesy a stavy systému, kalibrace a databáze uřezaných bram.

Šestá kapitola popisuje návrh vizualizace a grafického rozhraní realizované operátorskými panely. Je zde také popsáno uživatelské prostředí pro vytvoření vizualizace, jeho prostředky, možnosti a nástroje. Uživatelské rozhraní je pak rozděleno na dva operátorské panely, z nichž jeden slouží operátorům řízení a druhý je servisní.

V sedmé kapitole je testování systému a srovnání naměřených výsledků s teoretickými předpoklady a požadavky zákazníka. Testování se skládá ze statické zkoušky přesnosti systému, zkoušky funkčnosti a provozní zkoušky spolehlivosti systému.

V poslední kapitole je provedeno zhodnocení dosažených výsledků práce.

## 2 Měřicí pracoviště

Pracoviště kde je realizován systém pro přesné měření délky sekundárních bram, se nachází v areálu Evraz Vítkovice Steel na hale 5 a to v úseku dělení bram u pálicího stroje MESSER. Zde jsou primární bramy řezány na potřebný rozměr k dalšímu zpracování ve válcovacích tratích.



*Obr. 2.1 pálicí stroj MESSER v areálu EVRAZ Vítkovice Steel*

### 2.1 Stávající metoda měření bram

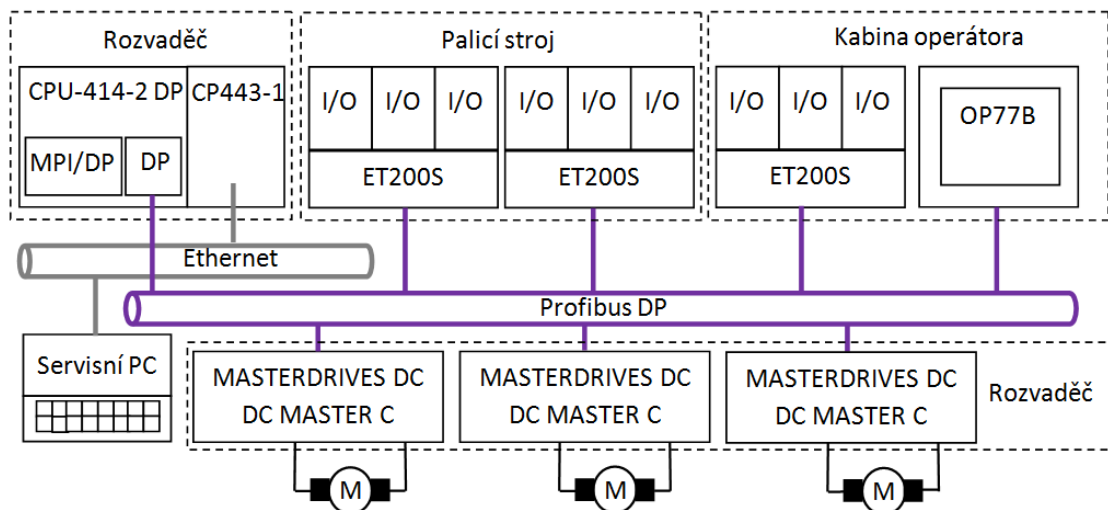
Dle požadavků na další zpracování jsou pracovníky na bramách pomocí pásma a pravítka ručně vyznačeny rysky. Operátor řízení bramu před řezem ustaví pomocí vyznačené čáry, kterou vidí skrz okýnko v kabině operátora. Přesnost této metody záleží tedy na více faktorech a to na správném napnutí měřidla a správném odhadu operátora při najíždění na vyznačenou rysku.

Obvykle se odchylka požadované a skutečné bramy pohybuje kolem 2cm. Zpřesněné rozměry vstupující do válcovacího modelu válcovací tratě by přinesly v konečném výsledku významné úspory kovu. Například odchylka při měření rozměrů bramy 1 cm má za následek ztráty na materiálu až 100 kg.

### 2.2 Systém pálicího stroje MESSER

Systém pálicího stroje se skládá ze tří samostatně ovládaných válcových pojezdů se stejnosměrným motorem a převodovkou. Řídicím prvkem systému je PLC S7-414-2DP od firmy Siemens, komunikující přes rozhraní MPI a PROFIBUS. K PLC je dále připojen komunikační modul s rozhraním Ethernet. Vstupy a výstupy signálů pálicího stroje jsou připojeny ke třem decentralním periferiím ET200S komunikující s nadřazeným PLC pomocí sběrnice PROFIBUS. Pro vizualizaci, konfiguraci a obsluhu pálicího stroje slouží HMI panel OP77 umístěný v kabině operátora, komunikující s nadřazeným PLC taktéž pomocí sběrnice

PROFIBUS. Programování a diagnostika pálicího stroje se provádí v programu STEP7 firmy Siemens pomocí servisního PC připojeného k systému buď pomocí MPI nebo Ethernetu.



Obr. 2.2 blokové schéma pálicího stroje MESSER

Systém pro měření délky bramy by bylo optimální propojit se systémem pálicího stroje pomocí dostupných rozhraní PROFIBUS nebo Ethernet a zachovat tak stávající koncept a strukturu systému pálicího stroje MESSER.

## 2.3 Požadavky na měřicí systém a podmínky měření

### 2.3.1 Požadavky na měřicí systém

Dle jednání s odběrateli koncového zařízení EVRAZ Vítkovice Steel jsou na vyvíjený systém pro měření délky bramy vzneseny tyto požadavky:

- přesnost změřené bramy v rozsahu  $\pm 5\text{mm}$
- měření je prováděno při pohybu bramy
- zobrazení měřené hodnoty v kabině operátora
- zobrazení chybových stavů a informace o poloze sekundární bramy
- nastavení parametrů pro měření
- kalibrace měřicího systému
- databáze naměřených hodnot bramy v rozsahu 10 dnů
- technická a výkresová dokumentace, aktualizace obvodových schémat pálicího stroje MESSER o doplněné prvky

### 2.3.2 Výchozí údaje pro měření

Dle stávající technologie měření a řezu bram, prostředí měřicího pracoviště a požadavků zadavatele byly definovány tyto výchozí údaje:

- délka primárních bram 9,5 m
- délka sekundárních bram 1,7 – 3,3 m
- šířka bram 0,8 – 2,0 m
- tloušťka bram 145 – 300 mm
- zarovnání bramy 1000 – 1530 mm, 240mm od vodící lišty valníku
- polohování bramy do řezu ruční, operátorem
- teplota okolí v hale - 20°C až + 35°C
- teplota naměřených bram teplota okolí

### 3 Měření vzdáleností v hutním průmyslu

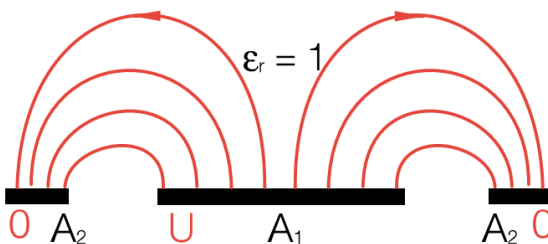
Prostředí výrobních hal v hutním průmyslu jsou charakteristická agresivními podmínkami – (prach, teplo, vibrace, chemické výpary, kolísání a rušení z napájecí sítě apod.), těžkou dostupností k měřenému materiálu, popřípadě možným nebezpečím zachycení obsluhy při měření rozměrů a kvality povrchů ocelářských výrobků v jejich bezprostřední blízkosti.

Snímače pro účely automatizovaného měření vzdálenosti je možno rozdělit na dvě základní skupiny podle toho, zdali měřené těleso přichází při měření do styku se snímačem, nebo měření probíhá bezkontaktně. Z důvodů náročných podmínek co se týče prostředí, mechanického opotřebení, spolehlivosti a vysoké životnosti budeme dále uvažovat pouze snímače bezkontaktní. Pro bezkontaktní měření vzdáleností, rozměrů a polohy materiálů v průmyslových aplikacích lze použít snímače využívající těchto principů:

- kapacitní
- indukční snímače s potlačeným magnetickým polem
- magneto-indukční
- ultrazvukové
- laserové

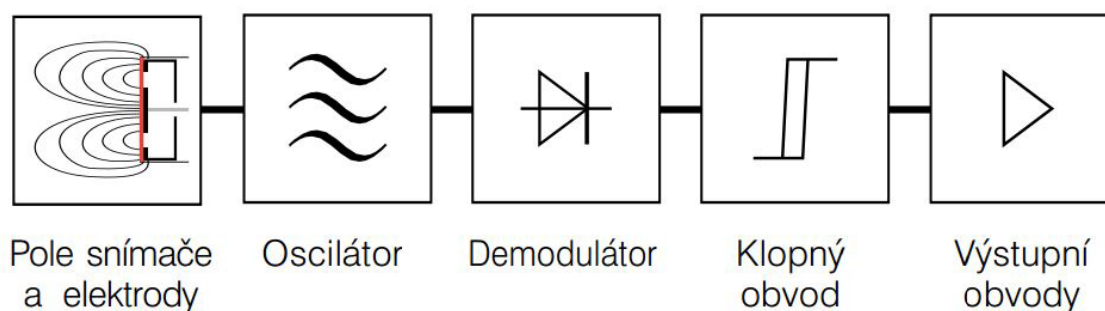
#### 3.1 Kapacitní snímače

Kapacitních snímače fungují na principu tzv. „otevřeného kondenzátoru“. Snímací senzor tvoří dvě soustředné kruhové elektrody, mezi kterými se vytváří obloukové siločáry. Pokud není v bezprostřední vzdálenosti snímače přítomen žádný předmět, je relativní permitivita dielektrika rovna hodnotě pro vzduch, což je  $\epsilon_r = 1$ . V takovém případě mají siločáry tvar jako na Obr. 3.1.



Obr. 3.1 tvar siločar při nepřítomnosti předmětu [1]

Samotné měření začíná u oscilátoru, kterým je na elektrody přivedeno střídavé napětí. Mezi elektrodami se pak vytvoří zmíněné siločáry. Jakmile se v oblasti siločar objeví předmět s jinou relativní permitivitou, dojde ke změně kapacity. Na základě kapacitní reaktance pak dojde k fázovému posunutí výstupního proudu vůči vstupnímu. Tuto změnu vyhodnotí demodulátor a srovná s výchozí hodnotou. [1]

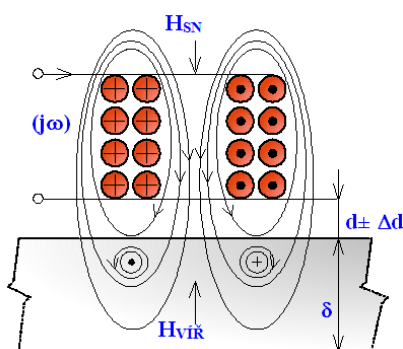


Obr. 3.1 blokové schéma kapacitního snímače [1]

Kapacitní snímače se standardně vyrábí s rozsahy od 0,05 – 10mm, což závisí na velikosti a provedení konkrétního typu snímače. Tyto snímače dosahují také velmi vysoké rozlišitelnosti a to až 0,001% z měřicího rozsahu. Nelinearita, již dosahují nejpřesnější typy těchto senzorů je 0,05% z měřicího rozsahu.

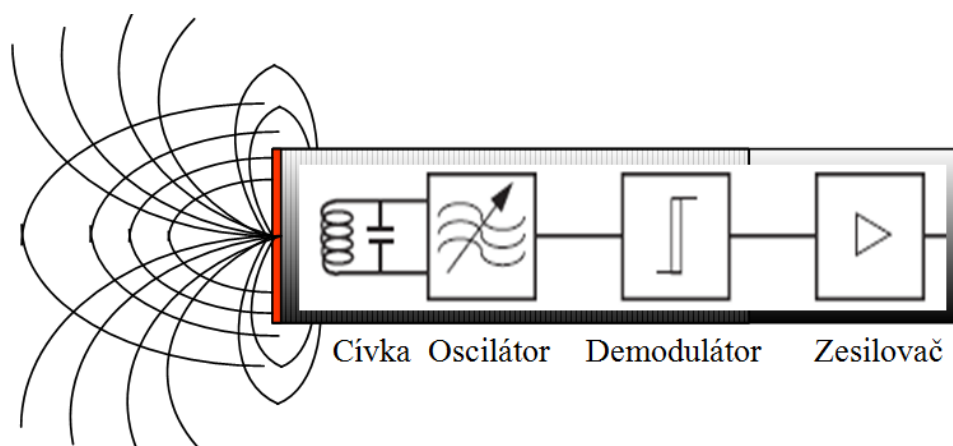
### 3.2 Indukčnostní snímače s potlačeným magnetickým polem

Indukčnostní snímače s potlačeným magnetickým polem, pracující na principu vířivých proudů. Vložení elektricky vodivého a magneticky nevodivého (diamagnetického) materiálu do vysokofrekvenčního magnetického pole snímače s intenzitou  $H_{SN}$  se v něm indukují vířivé proudy budící magnetické pole s intenzitou  $H_{VIR}$ . Její směr je opačný než směr intenzity pole budící cívky, z čehož plyne označení termínem potlačené magnetické pole.



Obr. 3.2 princip snímače s potlačeným magnetickým polem

Budící cívka je součástí LC oscilátoru. Po připojení k napětí začne LC obvod kmitat a vznikne vysokofrekvenční elektromagnetické pole soustředěné feritovým jádrem přes aktivní plochu do osy snímače. Při přiblížení elektricky vodivého předmětu k čelu cívky se elektromagnetickým polem vířivých proudů zmenší tok  $\Phi$  a indukčnost budící cívky a kmitání LC obvodu se utlumí. Výstupní signál rozladěného oscilátoru je přiveden na vstup komparátoru porovnávajícího prahovou hodnotu napětí s hodnotou na svém vstupu a v případě přítomnosti předmětu překlopí výstupní klopný obvod. [2]

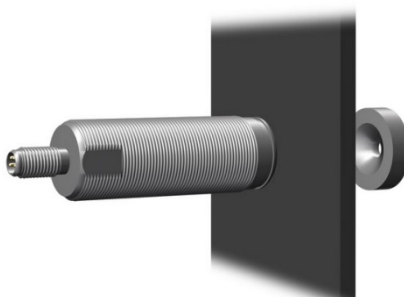


Obr. 3.3 blokové schéma snímače s potlačeným magnetickým polem[3]

Standardně vyráběné indukčnostní snímače mají rozsah od 0,5 – 50mm, kde rozsah závisí hlavně na velikosti snímače. Tyto snímače dosahují také velmi vysoké rozlišitelnosti a to až 0,005% z měřicího rozsahu. Nelinearita se pak pohybuje okolo 0,25% z měřicího rozsahu.

### 3.3 Magneto – indukční snímače

Magneto-indukční snímače detekují intenzitu magnetického pole vyvolané magnetem. Magnet je upevněn na měřenou součást a snímač se vhodně umístí v ose pohybu součásti. Vzdálenost magnetu od snímače je dána velikostí intenzity magnetického pole. [3]



Obr. 3.4 magneto-indukční snímač polohy [3]

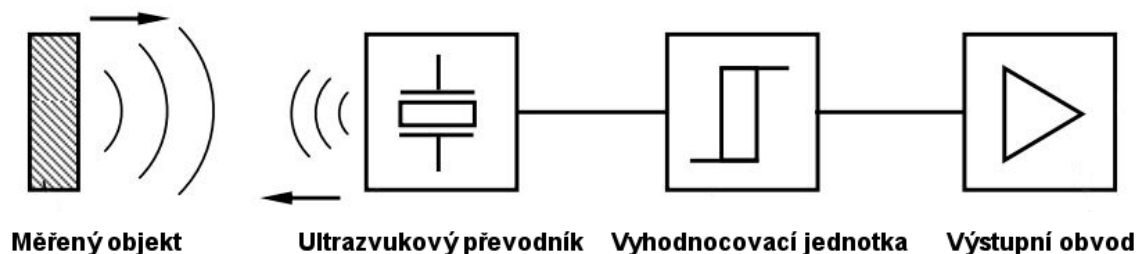
Měřicí rozsah magneto-indukčních snímačů je obvykle 20-50mm v závislosti na velikosti magnetu. Rozlišitelnost je menší než 0.05% a linearita  $\pm 3\%$  z rozsahu.

### 3.4 Ultrazvukové senzory

Ultrazvukových snímač pracuje na principu vyhodnocování doby letu ultrazvukového signálu. Tento způsob měření se označuje jako reflexní, protože k vyhodnocení dochází na stejném místě, ze kterého byl signál vyslán. Měníč vyšle v určitém časovém okamžiku několik impulzů, které se šíří vzduchem rychlostí zvuku. Jakmile tyto impulzy narazí na nějaký předmět, část vlnění se odrazí zpět do senzoru. Tyto odražené impulzy jsou detekovány stejným měničem, ze



kterého byly vyslány. Tyto impulzy jsou zesíleny a následně upraveny ve vyhodnocovací jednotce, která zjišťuje vzdálenost měřeného předmětu. Výstupní obvod zajišťuje převedení naměřených hodnot na standardní digitální a analogový výstupní signál. [4]



Obr. 3.5 blokové schéma ultrazvukového snímače [4]

Měřicí rozsah ultrazvukových snímačů je obvykle 30-60m. Rozlišitelnost se pohybuje od 0,2mm výše a linearita  $\pm 1\%$  z rozsahu.

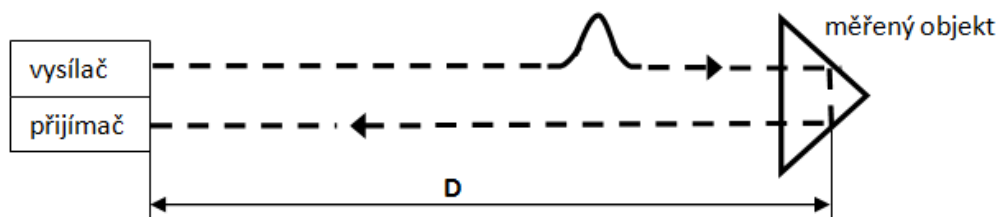
### 3.5 Optoelektronické snímače

Základní princip optoelektronických snímačů je šíření elektromagnetických vln (světelných paprsků). V optoelektronických snímačích se pro získání informací o vlastnostech a poloze objektu používá optické záření. Měření může probíhat na velké vzdálenosti a bezkontaktně, což je velká výhoda těchto snímačů. Další výhodou je odolnost proti rušení hlukem a vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli. Měření lze opakovat několikrát za sekundu, tyto snímače jsou tedy velmi rychlé. Pro měření se používá několik metod. Těmi nejzákladnější jsou: porovnávání fázového posunutí, měření doby letu světla a laserová triangulace. [5]

#### 3.5.1 Laserový dálkoměr na principu měření doby letu světelného paprsku

Senzor vysílá extrémně krátké pulsy laseru, měří čas letu těchto impulsů (kdy puls letí k objektu a zpět) a z toho vypočítává vzdálenost. Princip měření doby letu laserových pulzů je zvláště vhodný tam, kde mají být měřeny dlouhé vzdálenosti nebo ve ztížených průmyslových podmínkách.

$$D = \frac{c \cdot t}{2} \text{ kde } c \text{ je rychlost světla} \quad (3-1)$$

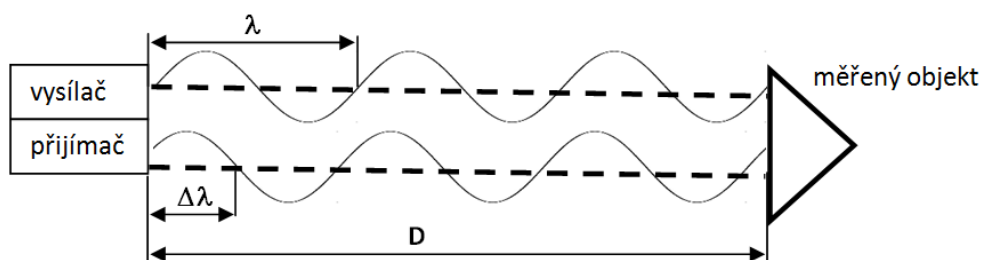


Obr. 3.6 laserový senzor na principu doby letu světelného paprsku [6]

### 3.5.2 Laserový dálkoměr na principu fázového posunu

Měřicí princip dálkoměru je založen na komparativním měření fázového posunu. Dálkoměr emituje vysokofrekvenční modulovaný světelný paprsek, který se od měřeného objektu odráží s určitým fázovým posunem. Odražený paprsek se porovná s referenčním signálem a podle velikosti fázového posunu se s milimetrovou přesností vypočítá měřená vzdálenost.

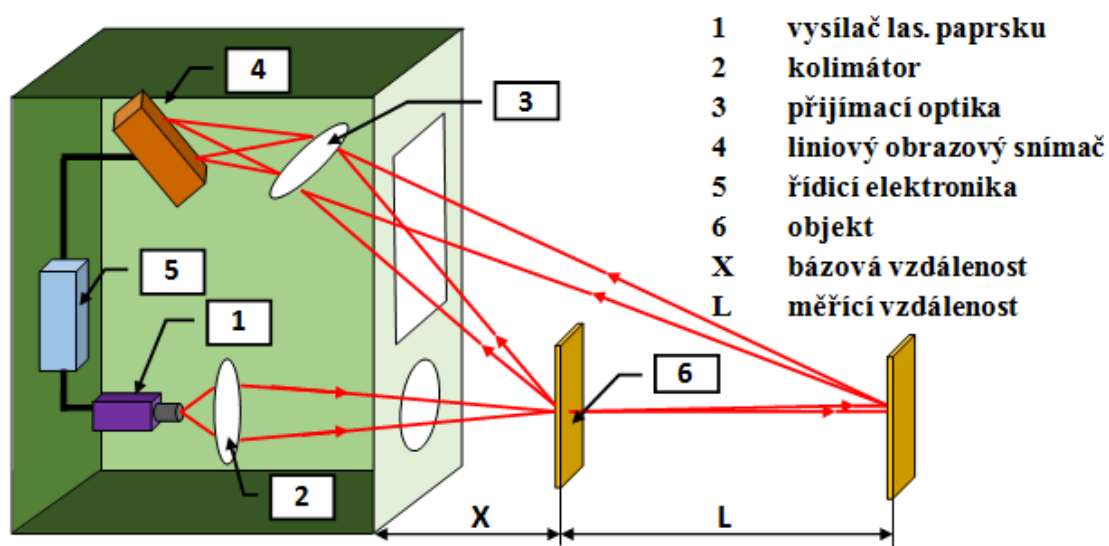
$$D = N \frac{\lambda}{2} \frac{\Delta \cdot \lambda}{2} \quad \text{kde } N \text{ je počet vln} \quad (3-2)$$



Obr. 3.2 laserový senzor na principu fázového posunu [6]

### 3.5.3 Laserový dálkoměr měřicí na základě triangulačního principu

Paprsek laseru je vysílán zdrojem světla (1) a je zaměřen přes optiku (2) na objekt (6) viditelným bodem. Po odrazu od objektu je paprsek zaostřen přes objektiv (3). Relativní pozice tohoto bodu je snímána CCD kamerou (4) s vysokým rozlišením (lineární pole). Z pozice tohoto bodu signálový procesor (5) vypočítá vzdálenost do objektu. [6]



Obr. 3.7 laserový senzor na principu triangulace [6]

### 3.6 Srovnání jednotlivých principů snímačů

	Kapacitní	na principu vířivých proudů	magneto-indukční	Ultrazvukové
<b>Dosah</b>	10mm	40mm	55mm	až 60m
<b>Přesnost</b>	0,05%	0,02%	0,05%	0,50%
<b>Přednosti</b>	velká rozlišitelnost a linearita	velmi přesné	pracuje skrz neferomagnet. Materiály	detekuje i sklo
<b>nevýhody</b>	citlivé na vlhkost a nečistotu	předmět musí být vodivý	nutno připevnit magnet	slepé místo (nelze měřit od 0mm)

Tab. 3.1 porovnání parametrů bezkontaktních snímačů

	Triangulace	Měření fázového posuvu	Šíření impulsů
<b>Dosah</b>	až 10 m	až 200 m	v řádu kilometrů
<b>Přesnost</b>	asi 0,1 % při malém dosahu	v řádech milimetrů nebo přesnější	v řádech milimetrů
<b>Přednosti</b>	jednoduchá a levná instalace, rozlišování několika předmětů	jednoduchá instalace, velká přesnost	velký dosah při zachování velké přesnosti: možnost rozlišit několik předmětů
<b>nevýhody</b>	problematická detekce skla	problematická detekce skla	problematická detekce skla

Tab. 3.2 porovnání parametrů laserových snímačů

### 3.7 Výběr principu měření snímače délky bram

Pro výběr konkrétního snímače je provedeno porovnání vlastností jednotlivých snímačů. Z hlediska dosahu jsou pro aplikaci měření délky bram vhodné pouze dva principy měření: ultrazvukový a laserový. Společným rysem obou metod měření je jejich rychlost a efektivnost.

#### 3.7.1 Přístroje využívající ultrazvuku

Největší předností ultrazvukových snímačů je jejich nízká cena. Ta je však vykoupena jejich přesností, která se pohybuje kolem 0,5% z rozsahu. U přístrojů využívajících pasivního odrazu je zapotřebí dostatečně rovná a velká odrazná plocha ( $\varnothing$  cca 20 cm při měřené vzdálenosti 2 m,  $\varnothing$  cca 0,5 m při vzdálenosti 5 m). V prostoru vymezeným kuželem mezi snímačem a odraznou plochou nesmí být žádné překážky, aby se nezamezilo šíření ultrazvukových vln. Výhodou

oproti laserovým přístrojům je spolehlivé měření vzdáleností od skleněných tabulí a materiálů s nízkou odrazivostí. Dosah ultrazvukových snímačů s pasivním odrazem je do 20m a při použití elektronického odražeče se pohybuje mezi 50 až 60m. Ultrazvukové snímače se využívají zejména tam kde jejich vlastnosti dostatečné nebo nelze použít laserových snímačů.

[7]

### 3.7.2 Laserové přístroje

Laserové přístroje jsou oproti ultrazvukovým poměrně dražší, ale nemají mnohé nevýhody popisované u ultrazvukových snímačů. Použití laserového paprsku nemá konkurenci ať už při klasických metodách měření pásmem či jinými pomůckami nebo při použití ultrazvukových vln. Odrazná plocha může být jen nepatrné velikosti, protože je kužel laserového paprsku téměř bodový ( $\varnothing$  5 mm při vzdálenosti objektu 10m ). Díky tomu lze měřit vzdálenost různých zakřivených ploch, potrubí, malých součástí v nedostupných místech i třeba po úhlopříčce v rozích místností apod. Místo dopadu paprsku na měřený předmět je jednoznačně definováno viditelným červeným bodem. Měřicí paprsek může dopadat pod úhlem až  $85^\circ$ , za předpokladu že je zajištěna přímková viditelnost měřeného objektu. Běžný rozsah laserových čidel při použití odrazné destičky se pohybuje kolem 200m a 30 až 70m při pasivním odrazu. Přesnost této metody měření je naprosto bezkonkurenční a to až  $\pm 1,5$  mm, což nemohou dosáhnout ani nejpřesnější pásma.

[7]

### 3.7.3 Shrnutí vlastností jednotlivých principů

Ultrazvukové snímače	Laserové snímače
+ nižší cena	+ podstatně vyšší dosah
+ odraz i od skla	+ podstatně vyšší přesnost
- menší dosah	+ vyšší spolehlivost a opakovatelnost výsledků
- mnohem nižší přesnost	+ možnost kalibrace a získání kalibračního listu
- nelze kalibrovat	+ nepatrná odrazná plocha
- potřebná velká odrazná plocha	+ pracuje i při šikmém dopadu paprsku
- nároky na odraznou plochu, musí být rovná a pevná	+ pro větší vzdálenosti pouze pasivní terč
- špatný odraz od malých cílů, potrubí, sloupů apod.	+ místo měření označeno červeným bodem
- dopad paprsku musí být kolmý	+ lepší vybavenost funkcemi
- pro větší vzdálenosti je zapotřebí odražeče	- vyšší cena
- přístroje mívají menší vybavenost funkcemi	- nespolehlivý odraz od průhledných ploch (skla)

Tab. 3.3 shrnutí vlastností ultrazvukového a laserového měření vzdálenosti

Důkladným porovnáním parametrů ultrazvukových a laserových snímačů je vybrán laserový princip snímače, které jsou nejvhodnějším a nepřesnějším řešením pro tento typ aplikací. Dle tabulky Tab. 3.2 porovnání parametrů laserových snímačů 3.2, kde jsou porovnány laserové snímače vzdálenosti vyplývá, že pro zadané podmínky, zvláště pak vzdálenosti a možnosti uložení

senzoru ke stávajícímu systému pálicího stroje MESSER je pro systém měření délky bram nejvhodnější použít laserový senzor na principu fázového posunu.

### 3.8 Výběr konkrétního snímače pro měření délky bram

Pro přesné snímání vzdálenosti a rozměrů pohybující se bramy je na základě dodaných technických údajů vybrán laserový snímač LDM43 od firmy JENOPTIK a laserový optický snímač ILR1183 od firmy Micro-Epsilon. Oba tyto snímače vyhovují náročným podmínkám provozu pálicí linky a to zejména prachu, teplotě, vlhkosti a vibracím. Co se týče požadované přesnosti měření  $\pm 5$  mm na výstupu pálicí linky, obě čidla ji splňují i při horších teplotních podmínkách. Každé z těchto čidel se vyrábí v různých modifikacích lišících se možnostmi komunikace. Společným rysem obou modifikací vybraných čidel je však možnost komunikace po sběrnici PROFIBUS, která je nejvhodnější variantou napojení na stávající systém. Klíčovým parametrem pro výběr konkrétního čidla jsou nakonec pořizovací náklady a skladová dostupnost. Tomuto kritériu nejvíce vyhovuje čidlo ILR1183 od firmy Micro-Epsilon.

#### 3.8.1 Snímač ILR 1183

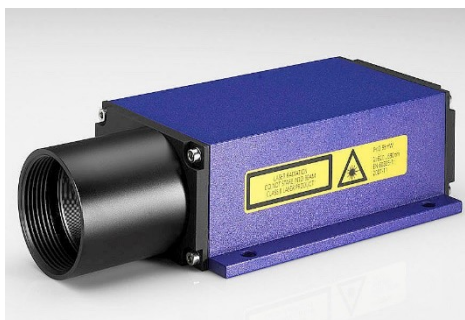
Snímač ILR 1183 je optoelektronický senzor pro bezkontaktní měření vzdálenosti a posunutí pro průmyslové aplikace. Umožňuje měření vzdáleností od 0,1 m až 150 m s dokonalou přesností. Cíl měření lze jasně identifikovat pomocí červeného zaměřovače bodu. Provozní rozsah snímače ILR 1183 je závislý na odrazivosti, morfologii a vlastnostech objektu, který mají být měřeny. Snímač pracuje na principu fázového posunu. Snímač vysílá modulovaný vysokofrekvenční paprsek, který je difúzně odražen zpět od cíle s určitým fázovým posunem oproti referenčnímu signálu. Z velikosti fázového posunu je měřená vzdálenost stanovena s přesností na milimetr [6]. Základní měřicí rozsah je 0,1 - 50m a s použitím difuzní reflexní plochy se pohybuje až do max. 150 m. linearita měření je  $\pm 2$  mm pro teplotní rozsah ( $+15^{\circ}\text{C}$  ...  $+30^{\circ}\text{C}$ ) a  $\pm 5$  mm pro rozsah ( $-10^{\circ}\text{C}$  až  $+50^{\circ}\text{C}$ ), rozlišení je 0,1 mm. [8]



*Obr. 3.8 laserový snímač ILR1183*

### 3.8.2 Snímač LDM43

Snímač opto LDM43 je inteligentní laser pro měření optického posunutí. LDM43 se skládá z laserového snímače, optiky, vyhodnocovací elektroniky. Snímač pracuje na principu fázového posunu. Modulovaný světelný bod se promítá na cílovou plochu. Tento snímač pracuje s polovodičovým laserem o vlnové délce 670 nm. Laser je provozován v pulzním režimu, frekvence pulsu odpovídající měřicí frekvenci. [5]. Základní měřicí rozsah je 0,1 - 30m a s použitím difuzní reflexní plochy se pohybuje až do max. 150 m. linearita měření je  $\pm 3$  mm pro teplotní rozsah ( $+15^{\circ}\text{C}$  až  $+30^{\circ}\text{C}$ ) a  $\pm 5$  mm pro rozsah ( $-10^{\circ}\text{C}$  až  $+50^{\circ}\text{C}$ ), rozlišení je 0,1 mm. [9]



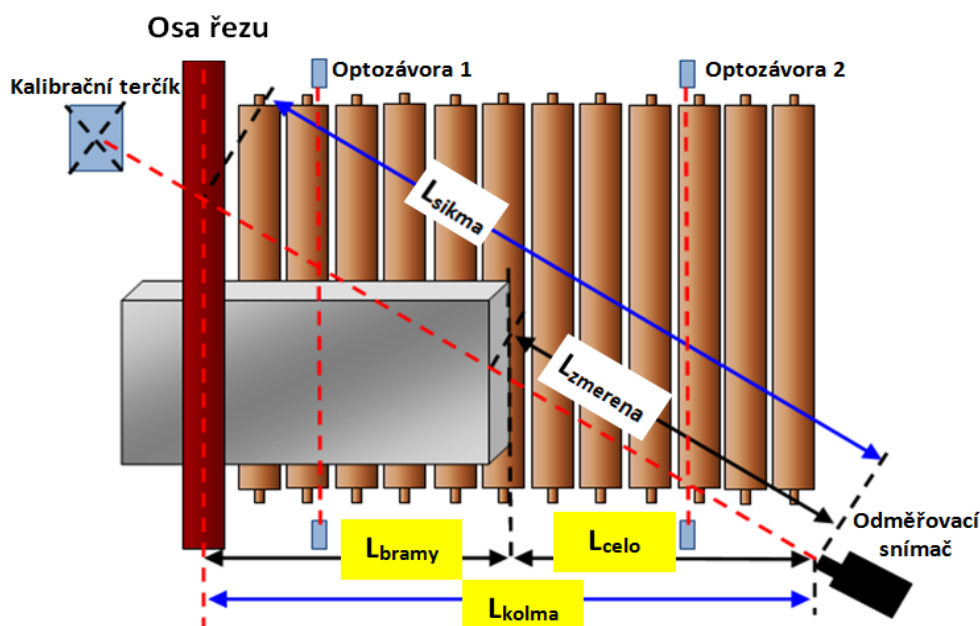
*Obr. 3.9 laserový snímač LDM43*

## 4 Realizační studie a návrh systému pro měření bram

Na základě podmínek měření, srovnání jednotlivých snímačů a principů měření (viz předchozí kapitoly) je zvolena metoda měření délky bramy pomocí laserového snímače. Na základě požadavků na systém měření a výchozích podmínek pálicího stroje MESSER je zhotovena nabídková studie pro koncového odběratele systému pro přesné měření bram.

### 4.1 Použitá metoda měření

Metoda měření bramy spočívá v měření vzdálenosti čela bramy od laserového snímače, přičemž známe vzdálenost snímač-osa řezu. Délka bramy se pak vypočte jako rozdíl kolmých vzdáleností snímač-osa řezu a snímač-čelo-bramy. Z bezpečnostních a manipulačních důvodů je laserový snímač umístěn mimo valník a tak měřicí paprsek dopadá na bramu pod úhlem 10-14° dle ustavení. Pro získání kolmé vzdálenosti k čelu bramy se musí změřená vzdálenost vynásobit kosinem úhlu, pod kterým paprsek na bramu dopadá. Kosinus úhlu je dán poměrem kolmé vzdálenosti od snímače po osu řezu a šikmé vzdálenosti k ose řezu (délce paprsku snímače k ose řezu).



Obr. 4.1 metoda měření délky bramy

$$L_{bramy} = \left[ L_{kolma} - \left( L_{zmerena} \cdot \frac{L_{kolma}}{L_{sikma}} \right) \right] + L_{offset} - L_{kor} \quad (4-1)$$

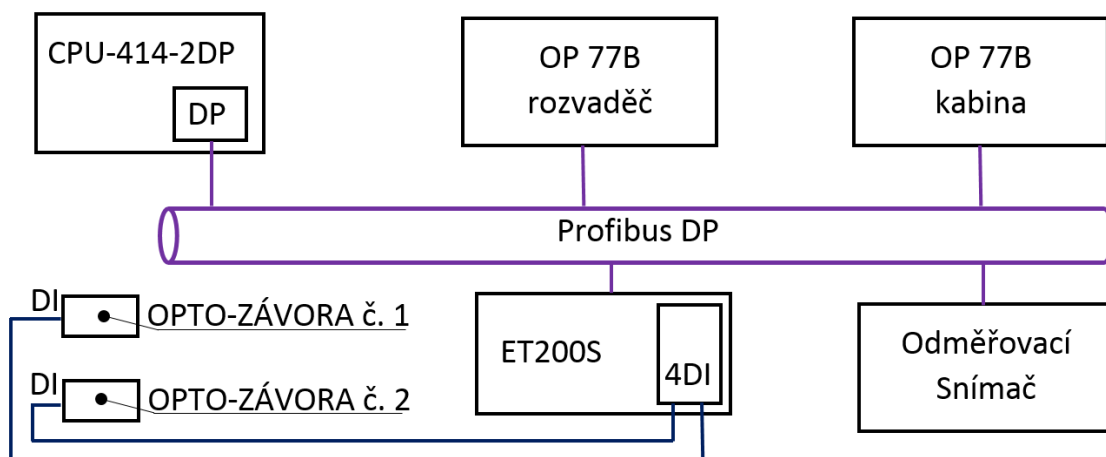
## 4.2 Pracovní cyklus měření s navrženým systémem pro měření bram

Na začátku směny se provede kalibrace, pomoci níž dojde k ověření nastavených údajů a kontrola ustavení laserového snímače a kalibračního terčíku. Výstupním údajem kalibrace je korekce, což je odchylka ustavení hořáků od normálové polohy což je 55mm od osy řezu. Po úspěšné kalibraci může začít proces měření bram a následný řez. Před příjezdem primární bramy musí být zajištěn volný měřicí prostor a paprsek laseru musí dopadat na kalibrační terčík. V měřicím prostoru se nesmí nacházet žádná překážka, což indikuje optická závora č. 2 nacházející se blíže k laserovému snímači. Po příjezdu bramy do měřicího prostoru dojde k přerušení první optické závory, paprsek svítí na čelo bramy a na displeji operátorských panelů se objeví aktuální délka bramy, což je délka, která přečnává od osy řezu se započtenou šířkou řezu. Operátor podle plánu najede na požadovaný rozměr a spustí proces pálení. Při najíždění hořáků k bramě v okamžiku dotyku „kopyt“ s bramou dojde k určení šířky bramy a taktéž se zkopíruje do pomocného datového bloku údaj o tloušťce bramy, kterou zadal operátor. Tímto jsou známy všechny potřebné údaje pro databázi bram a v okamžiku zahájení řezu se do ní zapíše pod aktuálním datem a časem. Po dokončení řezu se s uřezanou sekundární bramou musí odjet za měřicí paprsek tj. za druhou optickou závoru. V případě, že je volný měřicí prostor, se může popsáný cyklus opakovat. Po celou dobu procesu lze sledovat aktuální stav, instrukce i chybová hlášení na operátorských panelech.

## 4.3 Systém pro přesné měření délky bram

Navržený systém pro měření délky bram je zaimplementován do stávajícího systému pálicího stroje MESSER. Systém se skládá z laserového snímače ILR 1183, dvou optických jednocestných závor a dalšího operátorského panelu OP77B. Laserový snímač komunikuje s řídicím systémem S7-400 pomocí sběrnice PROFIBUS, optické závory jsou přivedeny ke vzdáleným stupům distribuované periferie ET200S a spolu s přidaným servisním operátorským panelem jsou připojeny taktéž na sběrnici PROFIBUS.





Obr. 4.2 blokové schéma systému pro přesné měření délky bramy

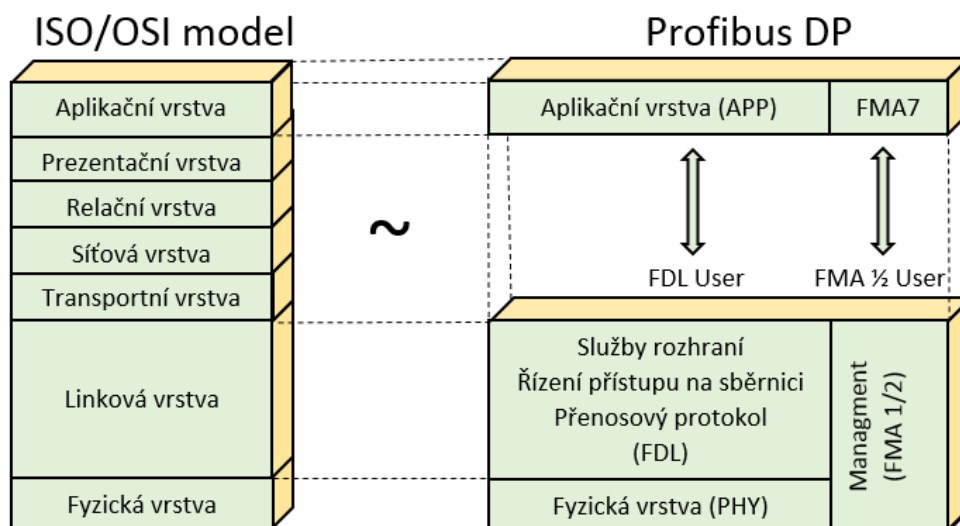
Laserem změřená data jsou cyklicky posílána a zpracovávána a výsledná délka bramy je zobrazena na operátorském panelu. Jednocestné optické závory slouží k detekci polohy bramy a určení aktuálního stavu systému. Měření může probíhat pouze tehdy, je-li přerušen pouze paprsek optické závory, která je blíže pálicímu stroji. Pokud je přerušen paprsek druhé optické závory znamená to, že paprsek nedosvítí na bramu, je třeba uvolnit měřicí prostor a měření je přerušeno. Všechny informace o poloze bramy a stavu systému jsou zobrazeny na panelu během měření.



Obr. 4.3 systém pro měření bram po implementaci k pálicímu stroji MESSER

#### 4.4 Komunikační sběrnice PROFIBUS DP

PROFIBUS-DP Je jednou z nejrozšířenějších variant průmyslové sběrnice PROFIBUS. Jedná se o komunikační síť pro rychlou komunikaci typu Master-Slave, kde řídicí jednotky komunikují s decentralizovanými periferiemi. Jeden komunikační kanál tak může nahradit při zachování rychlosti a spolehlivosti mnoha vodičově spojení mezi jednotlivými zařízeními. Sběrnice PROFIBUS DP je architektonicky postavena dle ISO/OSI kde využívá fyzickou, linkovou a aplikační vrstvu. Uživatelská vrstva nabízí jednoduché funkce pro komunikaci, konfigurování a řízení provozu na síti. Komunikačním médiem je buď kroucená dvojlinka (standard RS-485), nebo optické vlákno. Tato komunikační síť je nasazována na nižší systémové úrovni ke komunikaci s distribuovanými zařízeními, kde jsou kladeny vysoké nároky na rychlost přenosu a dobu odezvy, nejsou však zapotřebí složité komunikační funkce. [10]



Obr. 4.4 struktura PROFIBUS DP[11]

Každý řídicí systém (Master třídy 1) a všechny zařízení na sběrnici s funkcí Slave, přizpůsobené dle tohoto standardu, musí být popsány výrobcem pomocí GSD souboru. GSD soubor je hlavní soubor obsahující specifikaci zařízení – „General Station Description“. Specifikace se provádí pomocí definovaných tagů a soubor je v ASCII formátu. Řídicí systém - Master užívá informace z GSD souborů připojených zařízení k tomu, aby určil úroveň rozšíření sběrnice, služby které jsou Slavem podporovány a formu výměny dat. PROFIBUS DP je otevřený systém a tak je na adrese [www.profibus.com](http://www.profibus.com) ke stažení nástroj k vytváření GSD souborů krok po kroku. Pro použití zařízení je ovšem nutná certifikace. Každý výrobce PROFIBUS DP zařízení poskytuje nástroj, který zná vnitřní strukturu dat jak Masteru tak hostitelského systému. GSD soubory existují v jazykově neutrální verzi a to s příponou (\*.gsd) nebo v jiných jazycích s příponou (\*.gsx) kde x závisí na jazyku. Obvykle se musí nainstalovat do systému, pokud nejsou součástí software, v němž projekt vytváříme. [11]

## 5 Realizace systému pro přesné měření délky bram v hutním průmyslu

### 5.1 Použité vývojové prostředí

Stávající systém pálicího stroje MESSER je vytvořen v prostředí Step 7 od firmy Siemens. STEP 7 je umožňující programování a konfiguraci řídicích systémů SIMATIC. Zajišťuje podporu uživatele ve všech fázích vývoje projektu, jako je konfigurace a parametrizace hardwaru, nastavení komunikací, diagnostika a testování. STEP 7 Professional odpovídá mezinárodnímu standardu IEC 61131-3 čímž podporuje všeobecnou standardizaci a napomáhá k úspoře nákladů na tvorbu projektu.

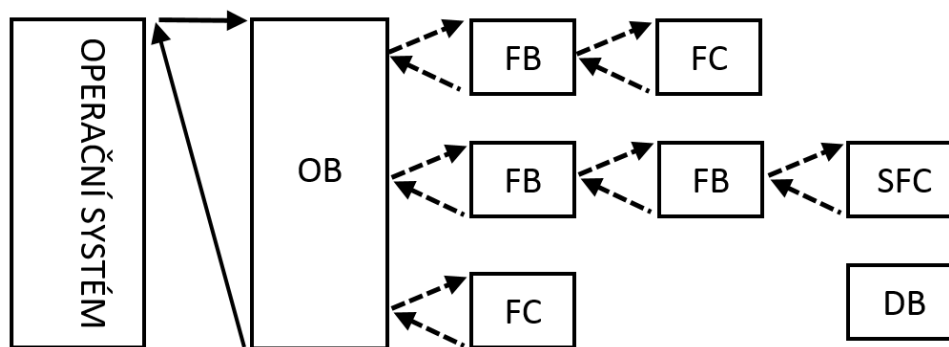
STEP 7 Professional se skládá z následujících částí:

- STEP 7 Basic obsahující programovací jazyky LAD, FBD, STL,
- S7-GRAF pro grafické programování sekvenčních řízení,
- S7-SCL vyšší programovací jazyk pro realizaci komplexnějších úloh,
- S7-PLCSIM simulátor reálného hardware. Odladění programu v kanceláři bez spojení se skutečným automatem. [12]

#### 5.1.1 Struktura programu ve STEP7

Základní strukturu programu určují organizační bloky, dále jen OB. Jsou rozhraním mezi operačním systémem a uživatelským programem. Řídí start systému, cyklické, časové provádění, obsluhuji přerušení atd. Jsou volány OS. V OB se pro tvorbu programu využívá následujících struktur:

- *funkční bloky – FB, funkce – FC* – logické bloky, které programuje uživatel. Funkční bloky jsou bloky, které mají přiřazeny paměťovou oblast, která slouží pro ukládání parametrů. Funkce jsou bloky, které tuto paměťovou oblast nemají.
- *datové bloky – DB* - jsou to datové oblasti obsahující uživatelská data. Mohou to být buď instanční datové bloky pro FB nebo sdílené DB, který může používat jakýkoliv logický blok.
- *systémové funkce – SFC, systémové funkční bloky SFB* – standardní, před-programované funkční bloky a funkce. Uživatel je může používat, nemusí je programovat. Tyto bloky jsou součástí operačního systému, nemusí být přenášeny s programem. [13]



Obr. 5.1 struktura programu

K základním programovacím jazykům prostředí STEP7 patří LAD, FBD a STL. Tentýž kód (funkci) lze tedy vytvořit třemi způsoby v závislosti na tom, který jazyk máme aktivní. Pokud je program napsán v LAD nebo FBD lze jej jednoduše přepnout do libovolného jiného. Speciálním jazykem je GRAPH který slouží pro programování sekvencí. Tento jazyk už nelze libovolně přepnout do některého z předcházejících tří. Nejuniverzálnější je tedy jazyk STL, do kterého lze přeložit vše z ostatních jazyků. [13]

**LAD** (Ladder diagram) je grafický jazyk, který je založen na bázi návrhu reléových obvodů. LAD má vždy na levé straně vertikální linii, která představuje napájecí vodič, který napájí horizontální linie. Každý kontakt reprezentuje stav binární proměnné. Pokud jsou všechny kontakty v horizontální linii spojeny, napájecí napětí projde a provede "coil" na pravé straně linie. Spínací kontakty (normally open) dávají hodnotu "true", když je kontakt sepnut, rozpínací kontakty (normally closed) naopak. Kombinací těchto kontaktů lze realizovat jakoukoliv logickou funkci.

Pravidla provádění LAD:

- žádný prvek networku není vyčíslen, dokud nebyly vyčísleny stavy všech jeho vstupů.
- vyčíslení elementu networku není dokončeno, dokud nebyly vyčísleny stavy všech jeho výstupů.
- vyčíslení networku není kompletní, dokud nejsou vyčísleny všechny výstupy všech jeho elementů.

**FBD** (Function block diagram) je jazyk, který využívá vzájemně propojených grafických bloků. Může být rovněž použit k vyjádření chování kroků, akcí a přechodů. V FBD popisujeme systém jako tok signálů mezi jednotlivými elementy schématu. To je velice podobné signálovým spojení v elektronických schématech. FBD by mělo být použito tam, kde problém představuje tok signálů mezi jednotlivými bloky. Typické použití FBD je zpětnovazební řízení a binární logické funkce. V FBD platí určité grafické konvence. Funkční bloky jsou kresleny jako obdélníky se vstupy přicházejícími zleva a výstupy vycházejícími zprava. Typ funkčního bloku je vždy uvnitř, zatímco jeho jméno je vždy nad blokem. Formální jména operandů jsou uvnitř bloku.

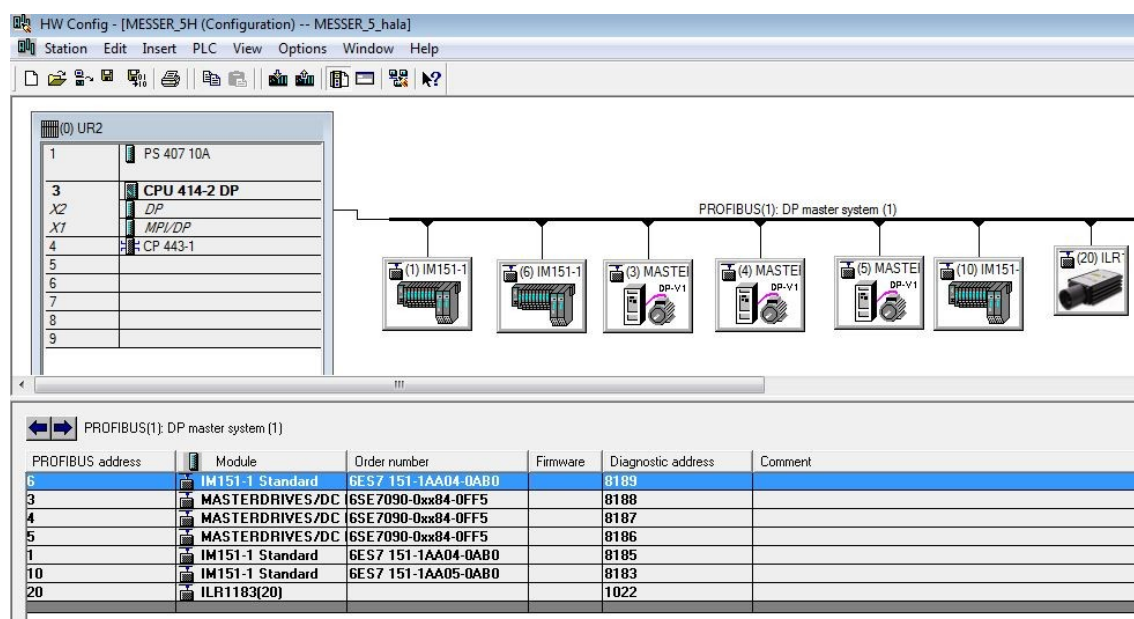
**STL** (Statement List) je textový programovací jazyk podobný assembleru. Hlavní výhoda STL spočívá v nezávislosti na existujících blocích, jak je tomu u grafických programovacích jazyků. Protože se jedná v podstatě o strojový kód, je náročnější se v programu orientovat a modifikovat stávající kód jiného programátora. STL se hlavně používá pro manipulaci s pamětí, vytváření výpočtových bloků a funkcí které jsou často používány. Hlavními „nástroji“ STL jazyka jsou podmíněné a nepodmíněné skoky, návěští. Ušetření práce a efektivity programování umožňuje použití pointerů. Do STL lze přeložit všechny ostatní jazyky používané v prostředí STEP 7. [14]

## 5.2 Vlastní program systému měření bram

Program obsluhující systém měření bram je zaimplementován do stávajícího projektu pálicího stroje v prostředí Step 7. Program se skládá z hardwarové konfigurace a programových bloků jako jsou funkce, funkční a datové bloky, které jsou pak dle potřeby volány organizačními bloky. S programem také souvisí nastavení konfiguračních dat laserového snímače ILR 1183, které se provádí v Hardwarové konfiguraci. Pro odladění možných chyb v průběhu instalace a měření se senzorem ILR1183 slouží tzv. online diagnostika všech zařízení komunikující po sběrnici PROFIBUS. Pro snadné odladění programových struktur, jsou součástí programu také VAT tabulky, které mohou obsahovat proměnné ze všech fází vykonávání programu a taktéž vstupní a výstupní signály. Všechny tyto proměnné můžeme monitorovat a v případě že se nejedná o fyzický vstup i modifikovat.

### 5.2.1 Hardwarová konfigurace

Stávající HW konfigurace pálicího stroje je doplněna o laserový senzor, který byl připojen na PROFIBUS a identifikuje se pod adresou 20. V továrním nastavení je však senzoru přiřazena adresa 4, kterou je nutno softwarově změnit, protože pod adresou 4 již komunikuje měnič pohonu valníku. Změna PROFIBUS adresy se provede připojením se přímo na PROFIBUS přes rozhraní PROFIBUS speciální kartou do PCI slotu. Připojení optických závor si vyžádá vložení nové karty 4DI do 12 slotu stanice ET200S. První optická brána je připojena na fyzický vstup I12.0 a druhá na I12.1. Přidaný servisní operátorský panel nevyžaduje změnu na záložce HW konfigurace, musí se však přidat do hlavního projektu ve step 7 a nastavit adresa a přenosová rychlost rozhraní PROFIBUS.



Obr. 5.2 hardwarová konfigurace po začlenění snímače do stávajícího systému

## 5.2.2 Konfigurační data senzoru ILR1183

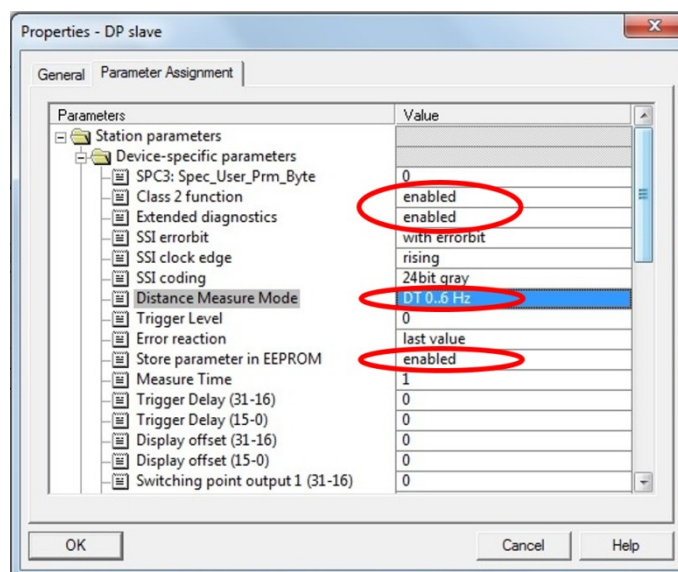
U senzoru ILR 1183 je kromě volby adresy, rychlosti komunikace, formátu výměny dat je možno přímo v hardwarové komunikaci nastavit konfigurační data. Tyto data jsou uloženy v EEPROM paměti uvnitř čidla a lze je změnit pouze při změně HW konfigurace a přepsáním příznaku *Store parameter*. Laserové čidlo, tak jak je definováno pro práci na sběrnici PROFIBUS, pracuje v profilu enkodéru. To znamená, že funkce, parametry a diagnostika použité v tomto zařízení vycházejí z lineárního enkodéru. Takto definované zařízení rozlišuje 2 třídy, které se liší svými parametry. Vše je patrné z následující tabulky:

Profil	Třída	Funkce	Velikost
Enkodér	1	pouze vstup	4/8Byte Input
		jednoduchá diagnostika	6/16Byte
		omezená možnost změny parametrů	7Byte
	2	vstup i výstup	8Byte Input/4Byte Output
		rozšířená diagnostika	61Byte
		pokročilá možnost změny parametrů	58Byte

Tab. 5.1 možnosti profilu pro enkodér

Konfigurační data senzoru ILR1183 zobrazíme stisknutím pravého tlačítka a volbou *Object Properties*. Z důvodu různých rychlostí a reflexivity měřených objektů snímač ILR 1183 rozlišuje několik módu měření. K získání precizní měřené hodnoty je zapotřebí vhodného

množství měření (odrazů paprsku od měřeného objektu) s různými frekvencemi. Pro mód DW a DX je počet měření k získání údaje limitován, což umožňuje vyšší měřicí frekvence. Na druhou stranu při těchto módech jsou vyšší požadavky na měřenou dráhu a reflexivitu cíle. Tyto omezení by měl uživatel akceptovat. V módu DT nebo DM může uživatel definovat maximální čas jednotlivého měření a to v parametru *Measuring Time*. Pro systém měření bram je zvolen režim DT (Distance Tracking). Režim DT bývá používán v případě měření různých druhů povrchů, což v našem případě představují různé typy výrobních vad čela bramy jako je vlnka po pálení nebo skartování. Z tohoto důvodu se měřicí doba pohybuje od 160ms do 6s. Delší doba je vyhodnocena jako chyba. V tomto módu je možno tuto maximální dobu měření nastavit v parametru *Measuring Time*, který představuje 27. byte.



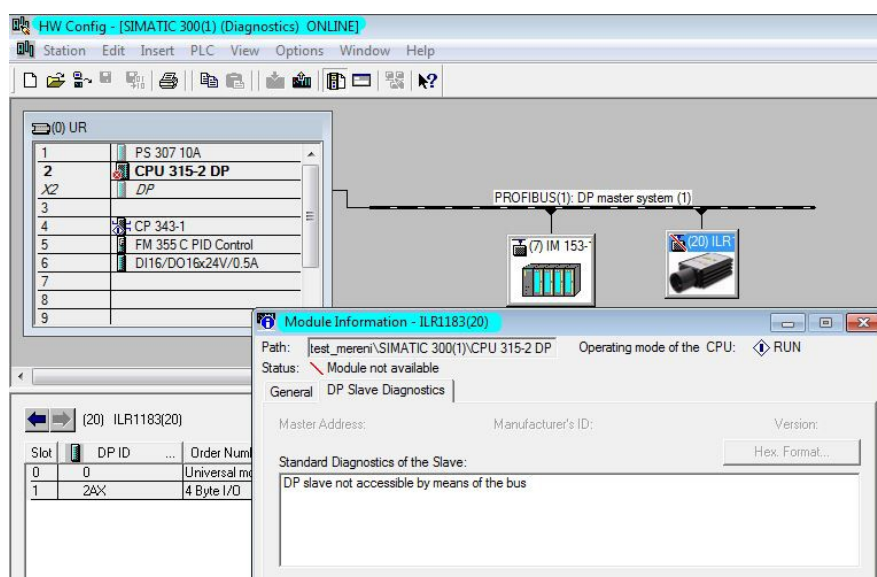
Obr. 5.3 konfigurační data senzoru ILR 1183

Pro požadavky navrženého systému pro měření bram nám však postačí tovární nastavení konfiguračních dat. V konfiguračních datech lze měnit například i offset, který je ale praktičtější měnit přímo v programovém cyklu měření bram.

### 5.2.3 Online diagnostika senzoru ILR1183

Online diagnostiku celého systému pro měření bram čidla zobrazíme v Hardwarové konfiguraci na záložce *station* → *open ONLINE*. Diagnostiku konkrétního prvku pak zobrazíme kliknutím pravého tlačítka a volbou *Module Information*. V případě, že senzor není správně připojen na sběrnici profubus, nebo není povolen v programu systémovým blokem, vypíše se na záložce *DP Slave diagnostic*: *DP slave not accesible by means of the bus*. Že komunikace mezi senzorem a PLC neprobíhá, zjistíme již ze symbolu přeškrtnutí na jeho ikoně.





Obr. 5.4 diagnostika při nenavázané komunikaci

Pokud je senzor v pořádku vypíše se na záložce *DP Slave diagnostic* : *Module are available and ok*. V případě jiných chyb se vypíše na záložce *DP Slave diagnostic* kód chyby, např *E17- Too much steady light*, což znamená, že je snímač oslněn jiným zdrojem světla například sluncem. Více o chybových hlášeních je obsaženo v příloženém manuálu.

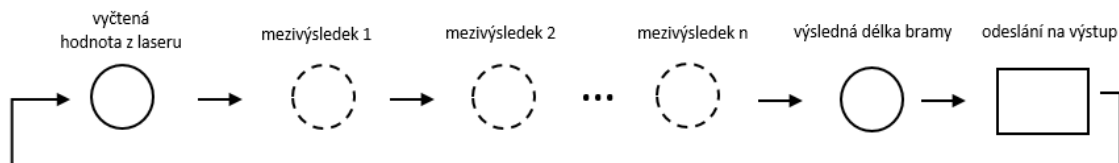
#### 5.2.4 Návrh programu pro měření bram pro PLC-S7 400

Na konečnou podobu programu a samotný návrh má vliv více faktorů. Mezi hlavní patří poznatky styl a struktura získané studiem stávajícího programu pro pálicí stroj MESSER, zkušenosti z předchozích projektů a samozřejmě fáze odlaďování, při které docházelo i k zásadním změnám výsledného programu. Program pro měření bram je nutno rozčlenit do několika samostatných funkcí - jednotlivých fází procesu měření a vyhodnocování a zpracování získaných dat. Funkce jsou rozčleněny takto: **nastavení a změna vstupních parametrů, získání a zpracování dat z čidla, procesy a stavy při měření bramy, kalibrace systému, databáze naměřených bram a databáze kalibrací**. Při návrhu jednotlivých funkcí je použita celá řada různých metod a postupů s ohledem na výslednou funkčnost dané funkce. Na volbu stylu a provedení konkrétní funkce má vliv její slovní nebo grafický popis, zjištění zda se dá vykonat pouze kombinačně nebo sekvenčně, zda je ji nutno pro náročnost dále strukturovat apod.

Pro návrh funkce pro získání a zpracování dat z laserového čidla se vychází z předpokladu, že výsledná délka bramy je dána algebraickým vzorcem. Dále je zapotřebí ošetřit změnu vstupních parametrů během vykonávání funkce a připravit data pro zapsání do databáze. Pro návrh části funkce pro výpočet délky bramy poslouží jednoduchý diagram, který znázorňuje postupný výpočet délky bramy z hodnoty získané laserovým snímačem. Tato část funkce se realizuje pomocí LAD diagramu, kde je výsledná délka bramy vypočtena za použití pouze základních algebraických operátorů. Výpočet je proveden postupně bez ukládání mezivýsledků do

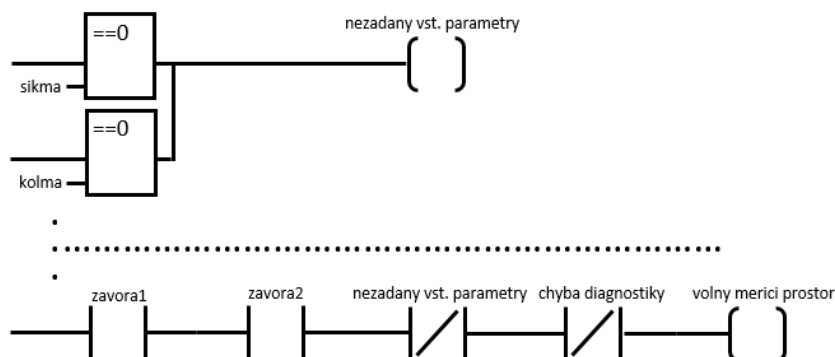


datových bloků. Mezivýsledky jsou ukládány do vnitřní paměti funkce a až konečná délka bramy je poslána do příslušného datového bloku.



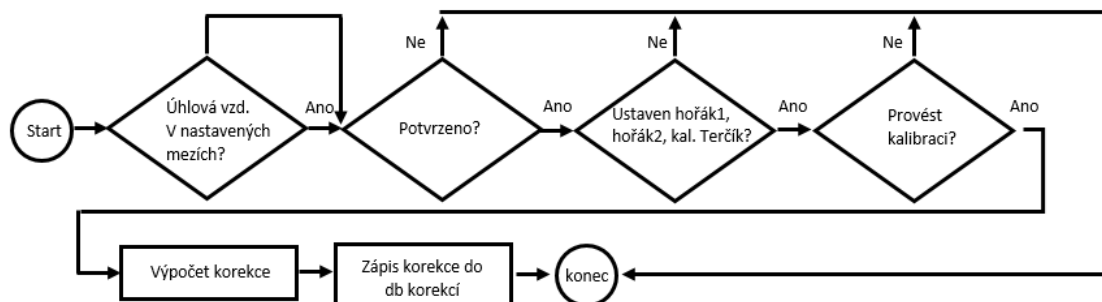
Obr.5.5 diagram návrhu funkce pro zpracování dat získaných laserovým snímačem

Funkce pro indikaci procesů a stavů, ke kterým dochází v rámci pracovního cyklu, je navržena přímo pomocí kontaktního schématu, které používá programovací jazyk LAD. Je to z toho důvodu, že je to nejintuitivnější varianta – systém se nachází v každém okamžiku pouze v jednom stavu a to i když je současně ve více poruchových stavech, protože je upřednostněn stav s větší prioritou. Větší prioritu má ten stav, který je v dané chvíli pro operátora řízení důležitější a má větší informační hodnotu. Například pokud nejsou zadány vstupní parametry pro výpočet délky bramy a zároveň je přerušen paprsek laserového senzoru, operátor řízení je nejprve informován o chybějících parametrech a až je tento problém vyřešen, objeví se informace o přerušení světelného paprsku. Tento typ diagramu má také výhodu přehlednosti. Každý stav systému může být realizován na jednom řádku (networku).



Obr.5.6 diagram návrhu funkce procesů a stavů při měření bramy

Pro návrh funkce realizující kalibraci systému je nutno vycházet z předpokladu, že jde o proces, který se vykonává sekvenčně. Takto je totiž zajištěna přesná posloupnost po sobě následujících kroků a stavů pro úspěšnou a hlavně bezpečnou a opakovatelnou kalibraci. Pro popis a návrh kalibračního děje může posloužit vývojový diagram viz. Obr. 5.7. Funkce je realizována pomocí jazyka LAD a posloupnost je zajištěna pomocí tzv. přídržných kontaktů.



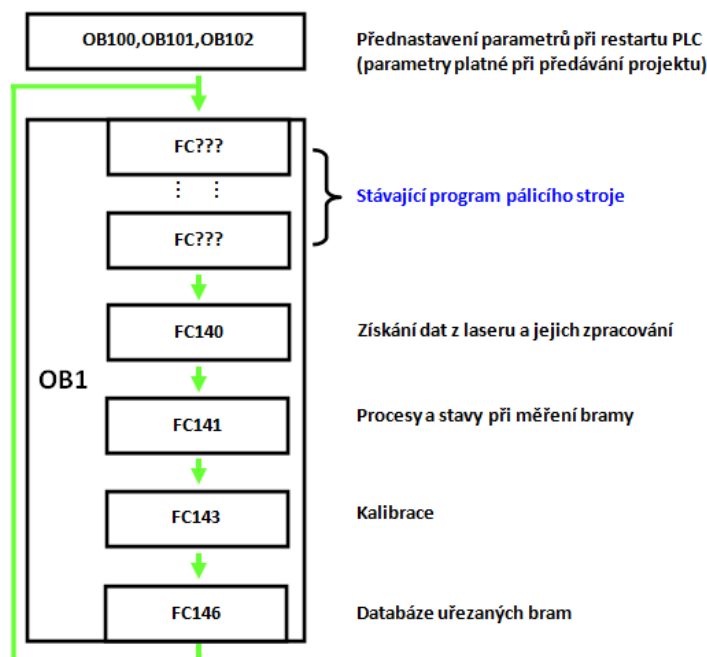
Obr. 5.7 diagram pro návrh kalibrace

### 5.2.5 Začlenění systému měření bram do programu pálicího stroje MESSER

Z důvodu implementace programu pro měření bram do stávajícího programu pálicího stroje je nutno dodržet některá důležitá opatření ohledně bezpečnosti, odolnosti případným kolizím a spolehlivosti. Pro zajištění nezávislosti systému na pálicím stroji a jeho ovlivnění je nutno použít vlastní paměťový prostor – tzn. vlastní datové bloky, funkce a pokud možno nezapisovat do globálních proměnných pálicího stroje. Neméně důležitá je přehlednost napsaného programu, komentáře a dodržování použité struktury.

Všechny funkce pro měření bramy kromě inicializace parametrů jsou volány v hlavním cyklickém programu – OB1. Funkce pro inicializaci parametrů je volána speciálními organizačními bloky – které se vykonají pouze jednou při různých restartech systému. Použitý řídicí systém CPU 414-2 DP obsahuje OB100,101 a 102.

Protože není použito časové ani hardwarové přerušení, program pro měření bram neblokuje program pálicího stroje a po vykonání vlastního kódu uvolní všechny systémové prostředky. Vzorkovací frekvence se v tomto případě záleží na délce celkového programu v OB1. Stávající program využívá necelých 20% kapacity PLC a laserový senzor posílá přes PROFIBUS změřenou hodnotu co 160ms. Výsledná hodnota délky bramy je vypočtena co 250ms, z toho plyne zpoždění oproti maximální teoretické rychlosti 90ms. Pro praktické využití je tato rychlost ovšem dostatečná.



Obr. 5.8 struktura programu realizovaná v programu Step 7

#### Použité vnořené funkce:

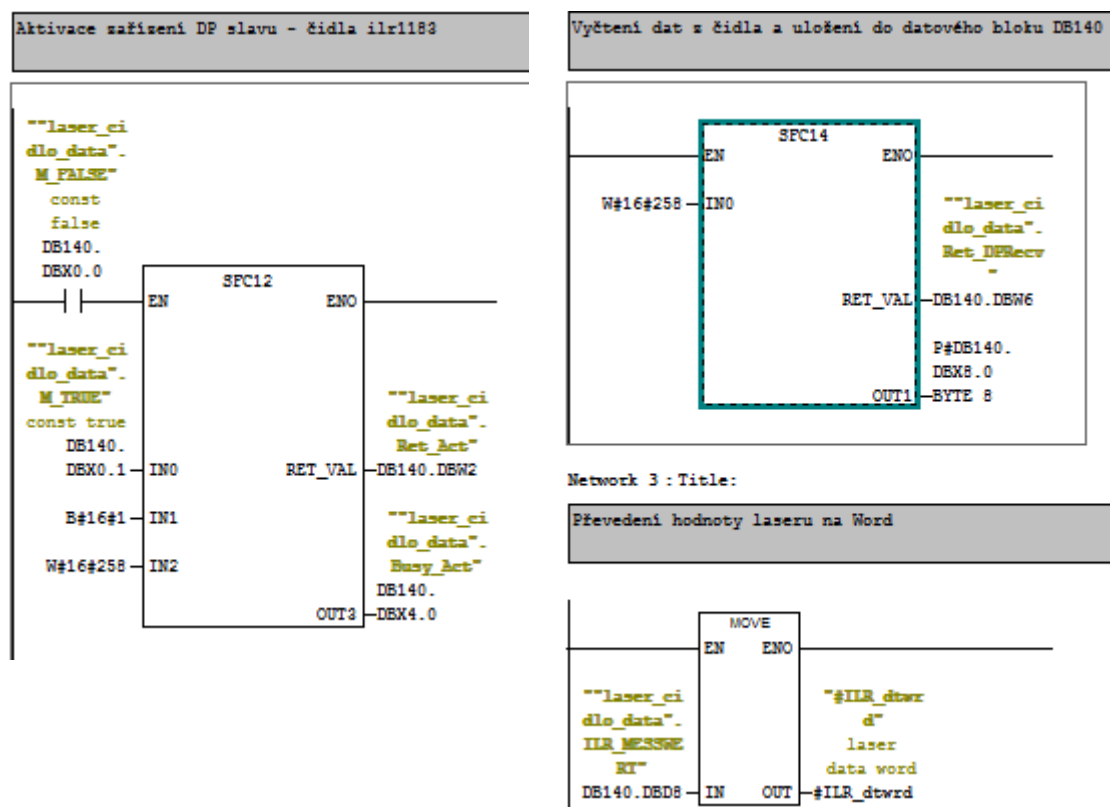
- FC144 – Zápis položky do databáze bram
- FC145 – Vyčtení položky z databáze korekce
- FC142 – Volání funkce pro vyčtení položky z databáze bram
- FC148 – Zápis položky do databáze korekce
- FC147 – Vyčtení položky z databáze korekce

#### Použité datové bloky:

- DB150 – Zadané parametry a data pro výpočet délky bramy
- DB151 – Data pro procesy a stavy při měření
- DB152 – Data pro kalibraci
- DB153 – Pomocná data pro vyčítání data a času
- DB200-DB209 – Data pro databázi parametrů uřezaných bram
- DB211 – Data pro zápis a vyčítání z databáze měřených bram
- DB212 – Data pro databázi korekcí

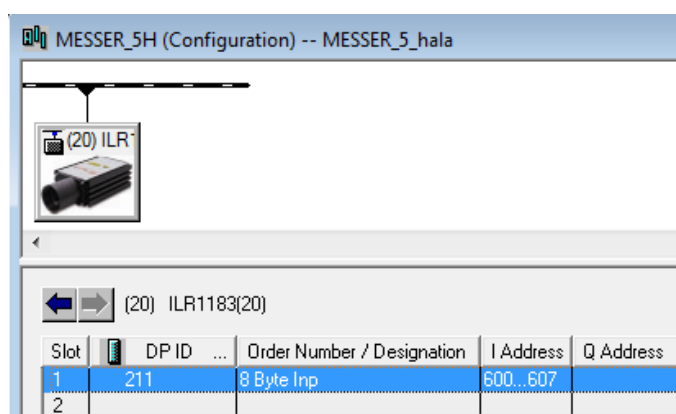
#### 5.2.6 Výpočet délky bramy

Klíčovým prvkem pro výpočet délky bramy je získání dat z laserového čidla ILR 1183. Předtím než jsme schopni z laseru číst, musíme jej aktivovat na sběrnici PROFIBUS pomocí systémové funkce SFC12(Activating/deactivating DP slaves). Po aktivaci zařízení se data vyčtou pomocí další systémové funkce SFC14(Reading Consistent Data of a DP Standard Slave).



Obr. 5.9 použití speciálních systémových funkcí v programu Step 7

Pro vyčtení dat je potřeba znát adresu zařízení, počet bytů k vyčtení a adresu kam se data budou posílat. Počet bytů k vyčtení se dá zjistit v Hardwarové konfiguraci při rozkliknutí ikony s čidlem. Data jsou vyčítána z adresy nastavené v HW konfiguraci (ve formátu hex) a následně převedeny na Word pro snadnější zpracování. Nedochází zde ke ztrátě dat, jelikož přesnost čidla deklarovaná výrobcem při rozsahu měření do 50m je  $\pm 2\text{mm}$ .



Obr. 5.10 rozhraní pro komunikaci se snímačem ILR1183 v programu Step 7

Výsledná délka bramy je vypočtena dle goniometrických funkcí se započtením šířky řezu a korekce dle aktuálního seřízení hořáků.

### 5.2.7 Procesy a stavy zařízení

Slouží k vyhodnocení polohy bramy v závislosti na okolních vlivech a signálu ze dvou optických čidel umístěných v prostoru pro měření bramy. Tato informace pak pomůže orientaci operátora řízení při procesu pálení nebo diagnostice poruch. Pro zpracovávání procesů složí funkce FC 141. Měření probíhá pouze tehdy, dosvítí-li paprsek z laserového čidla vzdálenosti na čelo bramy - to je v případě, že je přerušena jen jedna optická závora blíže ose pálení. V tomto případě se na obrazovce objeví číselný údaj o délce bramy. Měření je přerušeno v případě, kdy je v průběhu měření zastíněna také optická závora č. 2 – vzdálenější od osy pálení. Paprsek nedosvítí na čelo bramy a vypočtený údaj je neplatný.

### 5.2.8 Kalibrace

Pro kalibraci přesné polohy čidla a hořáků od osy řezu, zajišťující požadovanou přesnost pálení, slouží funkce FC143. Kalibrace je sekvenční úloha, která slouží pro ověření platnosti zadaných údajů – šikmé a kolmé vzdálenosti k rovině pálení a seřízení hořáků. Kalibrace se skládá ze dvou procedur:

- kalibrace úhlu
- kalibrace vzdálenosti.

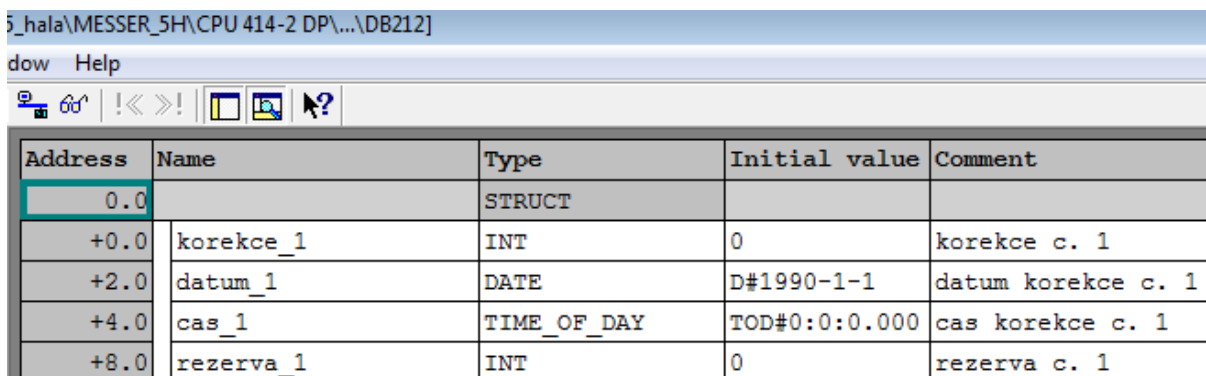
**Kalibrace úhlu** – se provádí, když je měření ve stavu měření připraveno. Tj. obě optické závory jsou nepřerušeny a paprsek dosvítí až na pevný kalibrační terčik. Paprsek musí na terčik dopadat v zadaném rozmezí šikmé vzdálenosti ohraničené na kalibračním terčiku a zobrazeném na obrazovce kalibrace. V případě že paprsek nesvítí do vyznačených mezí nebo aktuální hodnota šikmé vzdálenosti neleží v zobrazených mezích a terčik nenesе známky ohnutí či jiné deformace, znamená to, že je snímač mimo osu a musí se znovu ustavit, tak aby vyhovoval zadaným mezím. Krajním řešením je nové ustavení se změřením třech vzdáleností do obecného trojúhelníku a výpočtem kolmé vzdálenosti. V případě že paprsek leží v zadaných mezích jak opticky na terčiku tak hodnotově na panelu, potvrdí se kalibrace úhlu tlačítkem potvrdit a tlačítkem K2 se pokračuje na kalibraci kolmé vzdálenosti.

**Kalibrace vzdálenosti** – slouží ke korekci posunu hořáků při jejich seřizování, v případě že je čidlo ustaveno pod správným úhlem, viz kalibrace úhlu. Bez potvrzení kalibrace úhlu nelze kalibraci vzdálenosti provést. Ke kalibraci vzdálenosti slouží odnímatelný kalibrační terčik, který se ustaví na hořáky. Hořáky musí být ve správné vzdálenosti – při najíždění se zobrazí Hořák1 OK a Hořák 2 OK. Kalibrace může začít až při vložení kalibračního terčiku, což je také indikováno na display panelu. Kalibrací se vypočte korekce která naměřený údaj (vzdálenost bramy bez korekce a šířky řezu) zkoriguje na vzdálenost kalibračního terčiku od hořáků. Výsledkem kalibrace vzdáleností je korekce, která se bude odečítat ve výpočtu každé z měřených bram.

Po provedení korekce se hodnota a datum a čas korekce uloží do databáze korekcí – DB212. V databázi je uloženo posledních 10 korekcí s datem i časem.

5\_hala\MESSER\_5H\CPU 414-2 DP\...\DB212]

dow Help



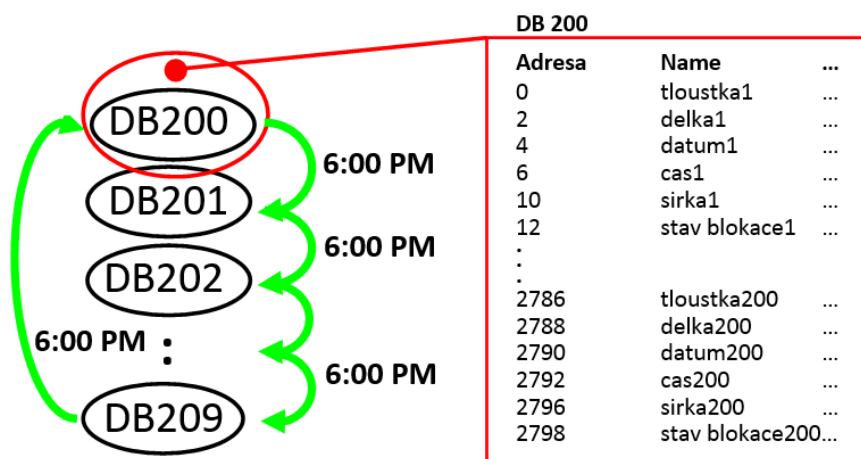
Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	korekce_1	INT	0	korekce c. 1
+2.0	datum_1	DATE	D#1990-1-1	datum korekce c. 1
+4.0	cas_1	TIME_OF_DAY	TOD#0:0:0.000	cas korekce c. 1
+8.0	rezerva_1	INT	0	rezerva c. 1

Obr. 5.11 struktura databáze korekcí v datovém bloku DB212

## 5.2.9 Databáze bram

Databáze bram slouží k uložení údajů o upálených sekundárních bram pro potřeby monitoringu jednotlivých směn a diagnostiky případných chyb systému.

Pro databázi bram jsou vyhrazeny datové bloky DB200- DB209 do nichž se postupně zapisují údaje jednotlivých uřezaných bram. Každý z datových bloků může obsahovat údaje až o 200 naměřených bramách - tedy max. 200 bram za 24 hodin. Do dalšího datového bloku se začíná zapisovat vždy v 6:00 ráno, přičemž se vymaže jeho obsah- v paměti jsou tedy zaznamenávány data upálených bram za posledních deset dnů.



Obr. 5.12 způsob zápisu do paměťových bloků databáze

Do databáze bram se zapisuje až po určení šířky bramy – v okamžiku kdy dostaneme signál od koncového umístění obou hořáků v okamžiku kontaktu s bramou. Každý záznam obsahuje tyto položky: Délka, šířka a tloušťka bramy. Datum a čas pálení a informace o blokování valníku.

Data jsou platná jen v případě, že se s valníkem v okamžiku řezání nepohybuje, což zaručuje tzv. blokování valníku, které v okamžiku spuštění hořáků zabrání pojezdu. Blokace/ valníku lze provést pouze servisním operátorským panelem OP77B.

halala\MESSER\_5H\CPU 414-2 DP\...\DB200]

dow Help

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	tloustka_1	INT	0	tloustka upalene bramy c. 1
+2.0	delka_1	INT	0	delka upalene bramy c. 1
+4.0	datum_1	DATE	D#1990-1-1	datum upaleni bramy c. 1
+6.0	cas_1	TIME_OF_DAY	TOD#0:0:0.000	cas upaleni bramy c. 1
+10.0	sirka_1	INT	0	sirka c. 51
+12.0	stav_blokace1	INT	0	stav blokace 1
+14.0	tloustka_2	INT	0	tloustka upalene bramy c. 2
+16.0	delka_2	INT	0	delka upalene bramy c. 2
+18.0	datum_2	DATE	D#1990-1-1	datum upaleni bramy c. 2
+20.0	cas_2	TIME_OF_DAY	TOD#0:0:0.000	cas upaleni bramy c. 2
+24.0	sirka_2	INT	0	sirka c. 2
+26.0	stav_blokace2	INT	0	stav blokace 2

Obr. 5.13 struktura databáze bram v datovém bloku DB200-209

Získání údajů do databáze vyžaduje použití několika systémových funkcí. Pro získání časového údaje je použita funkce SFC1, která vyčte aktuální datum a čas systému. Vyčtené data jsou v 8bytovém formátu a kdy je nelze přímo použít – kopírovat nebo zapsat do proměnné. Pomocí funkce FC6 z knihovny IEC function blocks lze ze získaného systémového času vyextrahovat datum a pomocí FC8 i čas.

Pro naprogramování databáze je použito jazyka STL, který umožňuje jednodušší práci s paměťovým prostorem. Výhodou je zvláště možnost použití smyček a podmíněných či nepodmíněných skoků. Pro zaadresování tak velkého množství dat a pohyb mezi jednotlivými položkami v datových blocích je použito pointerů. Tato koncepce v konečném důsledku znamená úsporu paměti systému i přehlednost a jednoznačnost.

Databázi bram je možné prohlížet na panelu v rozvaděči, postupným stisknutím F3 a F2 z hlavní obrazovky. F3 a F2 slouží k posunu mezi jednotlivými uřezanými bramami a K2 a K3 mezi jednotlivými datovými bloky (dny). Pokud chceme zobrazit konkrétní bramu bez dlouhého posouvání o jednu položku – zadáme žádaný index – což je pořadové číslo od 6:00 hod a údaje příslušné bramy se zobrazí na panelu. Pokud je u zobrazené položky datum 1. 1. 1990, znamená to, že brama s takovýmto pořadovým číslem ještě není v dané směně naměřena.

## 6 Návrh a realizace uživatelského rozhraní systému měření bram pomocí operátorského panelu

V této kapitole je postupně rozebrán návrh a realizace HMI pro systém měření bram. Navržené uživatelské rozhraní, jeho vzhled a struktura vychází z koncepce stávajícího pálicího stroje MESSER. V kapitole bude popsán použitý operátorský panel, vizualizační software – jeho nástroje a prostředky a návrh uživatelského rozhraní pro systém měření bram.

### 6.1 Operátorský panel OP77B

Pro vizualizaci procesů pálicího stroje MESSER slouží monochromatický textový operátorský panel s membránovou klávesnicí OP77B od firmy SIEMENS. Velikost displeje panelu je 4,5“ při rozlišení 160 na 48 pixelů. Displej komunikuje s nadřazeným PLC pomocí sběrnice PROFIBUS DP. Stávající systém využívá pouze jednoho panelu a to v kabině operátora řízení dělení bram. Rozšíření pálicí linky o systém měření bram si vyžádalo přidání dalšího servisního panelu, který bude sloužit k nastavování, servisu a monitoringu procesu měření.



Obr. 6.1 multifunkční operátorský panel OP77B

### 6.2 Použitý vizualizační software

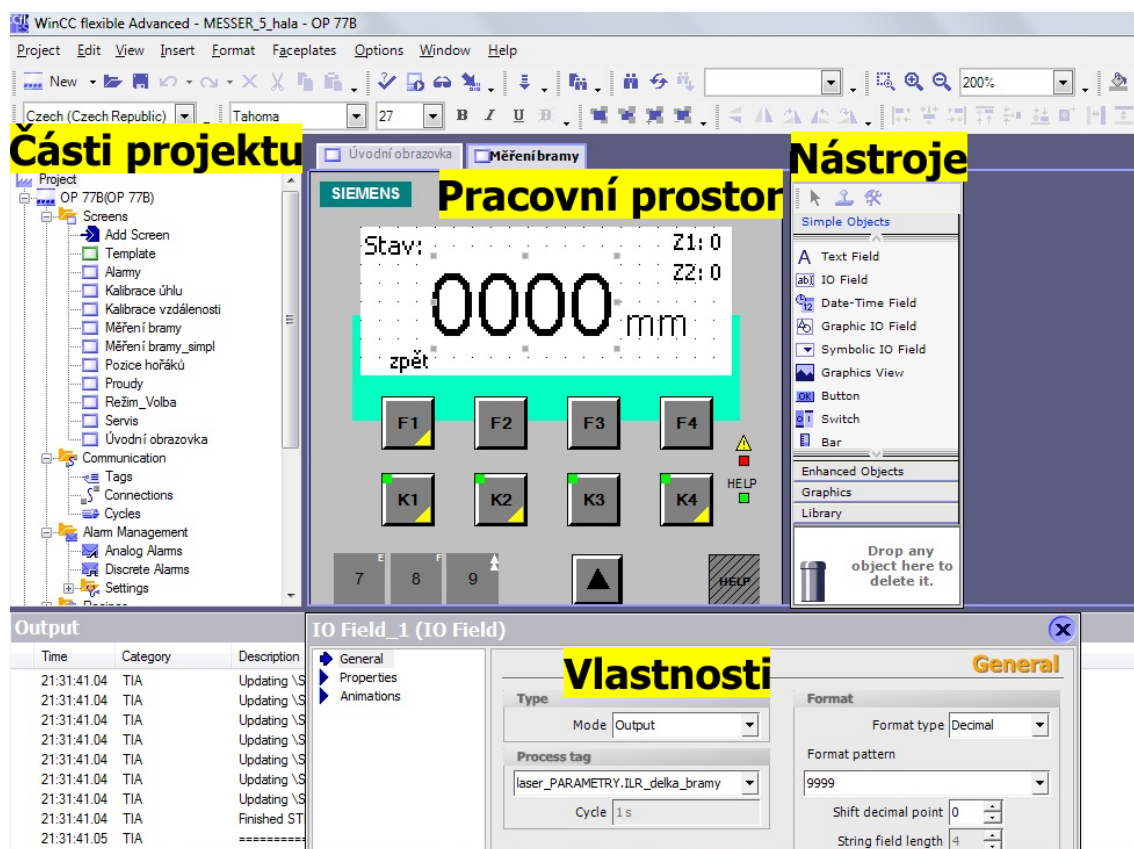
Pro vytváření vizualizací procesů pálicího stroje je použit software WinCC flexible od firmy Siemens. Obrazovky systém pro měření délky sekundárních bram a jeho budou přidány ke stávajícímu projektu pálicího stroje.

WinCC flexible může být integrován do nástroje SIMATIC Manager, který slouží pro realizaci projektu pro PLC. Hlavní výhodou integrace je sdílení kompletní komunikační struktury. Pro



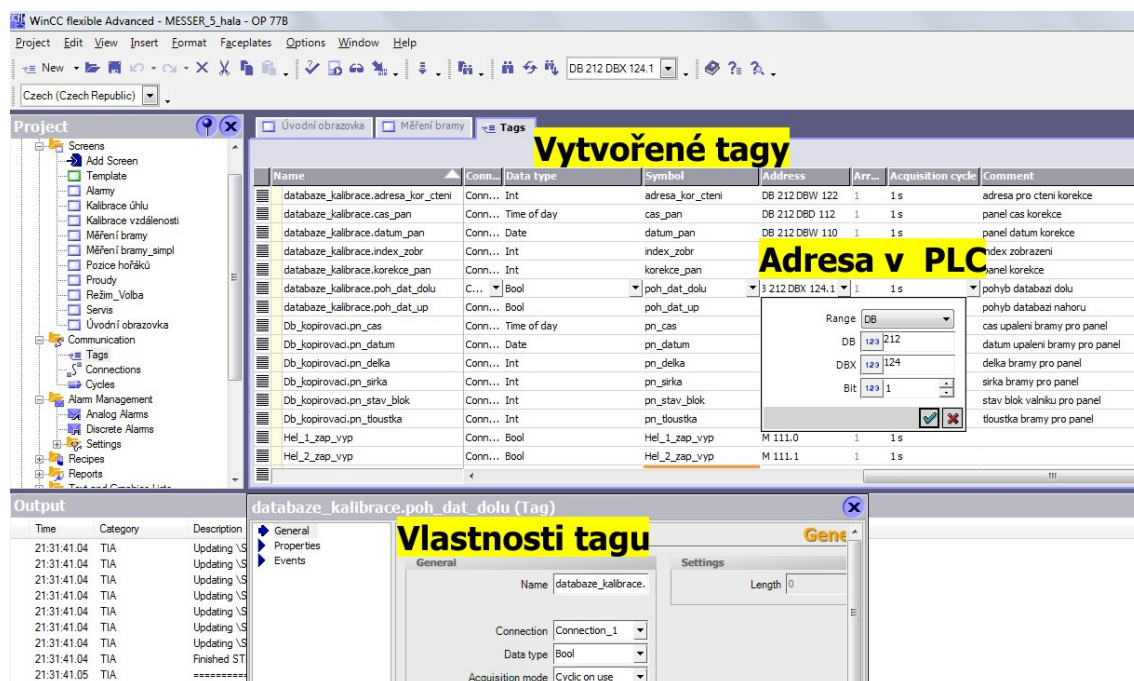
přenos informací z řízeného procesu do vizualizace slouží komunikační proměnné, které není nutno vytvářet, protože vznikly v SIMATIC Manageru při vytváření symbolické názvů objektů a datových bloků. Integrace přináší i diagnostická hlášení, která informují operátora o problémech na řídicím systému.

Vlastní vizualizace ke znázornění řízené technologie je vytvořena pomocí jednotlivých obrazovek pomocí předpřipravených objektů. Nejpoužívanější objekty jsou na panelu nástrojů a patří mezi ně např. textové pole, pole vstupů/výstupů, tlačítka vypínače bar grafy apod. Pokud je tvořena vizualizace na panelu s vyšším rozlišením lze použít knihovnu s jednotlivými technologickými prvky, jako jsou motory, čerpadla, klapy ventily nebo obrázky dané technologie. Lze vytvořit i speciální objekty na míru tzv. „faceplaty“, které lze centrálně editovat i po umístění na obrazovku.



Obr. 6.2 winCC flexible: hlavní okno programu

Uživatelské prostředí tvoří hlavní okno, kde jsou zobrazeny všechny důležité panely (Project, Tools, Properties, Output atd.), které lze volně uživatelsky měnit a přesouvat a hlavní pracovní prostor uprostřed obrazovky. Zvolená část projektu, která je právě editována se otevře v pracovním prostoru a po ukončení editace se minimalizuje do levého menu, kde jsou seřazeny jednotlivé části projektu. Mezi jednotlivými částmi lze jednoduše přepínat, což zefektivní a urychlí práci.



Obr. 6.3 winCC flexible: tvorba a úprava tagů

## 6.2.1 Nastavení komunikace

Komunikaci s operátorským panelem je nutno nastavit již v Hardwarové konfiguraci v programu Step7. Pro aktivní využití této komunikace musíme totéž nastavení provést i zde a to ve složce *Communication* → *Connection*. Nastavíme zde typ přenosového média, adresu a rychlost komunikace. Toto spojení nám nyní umožní přímý přístup do PLC, jeho datových bloků a I/O.

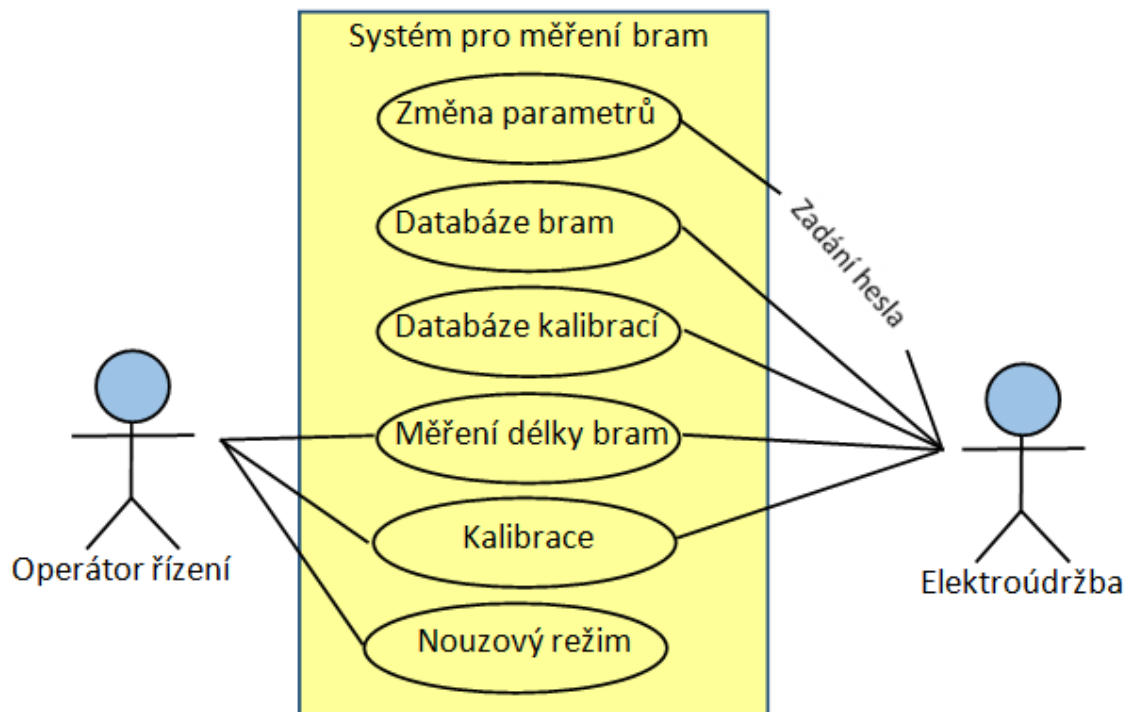
## 6.2.2 Tagy

Po nastavení spojení s PLC je potřeba vytvořit vizualizační proměnné tzv. „tagy“. Otevřením složky *Communication* → *Tags* lze definovat dva druhy tagů – interní a externí. Interní tagy jsou definovány jen v uživatelském prostředí a slouží např. pro ovládání grafických prvků. Externí tagy jsou přímo nebo nepřímo propojeny s proměnnými v PLC. Pokud je WinCC integrováno ve Step 7 lze použít migraci již vytvořených tagů. Při vytváření tagy je možno definovat jeho datový typ, rozsah (při překročení lze nastavit alarmy), časovou aktualizaci, komentář apod. K tagu lze také přiřadit skript nebo funkci, která povede ke změně jeho hodnoty. [15]

## 6.3 Uživatelské rozhraní systému pro měření sekundárních bram

Na základě konzultace s koncovým odběratelem je vytvořena struktura obrazovek pro vizualizaci procesu měření sekundárních bram. Pro rozlišení obsluhy, dozoru a servisu systému měření bram je do stávajícího systému přidán další operátorský panel. Přidaný operátorský

panel slouží jako servisní a umožňuje nejen všechny operace panelu operátora řízení ale hlavně nastavení všech parametrů, přístup do databáze bram a kalibrací.

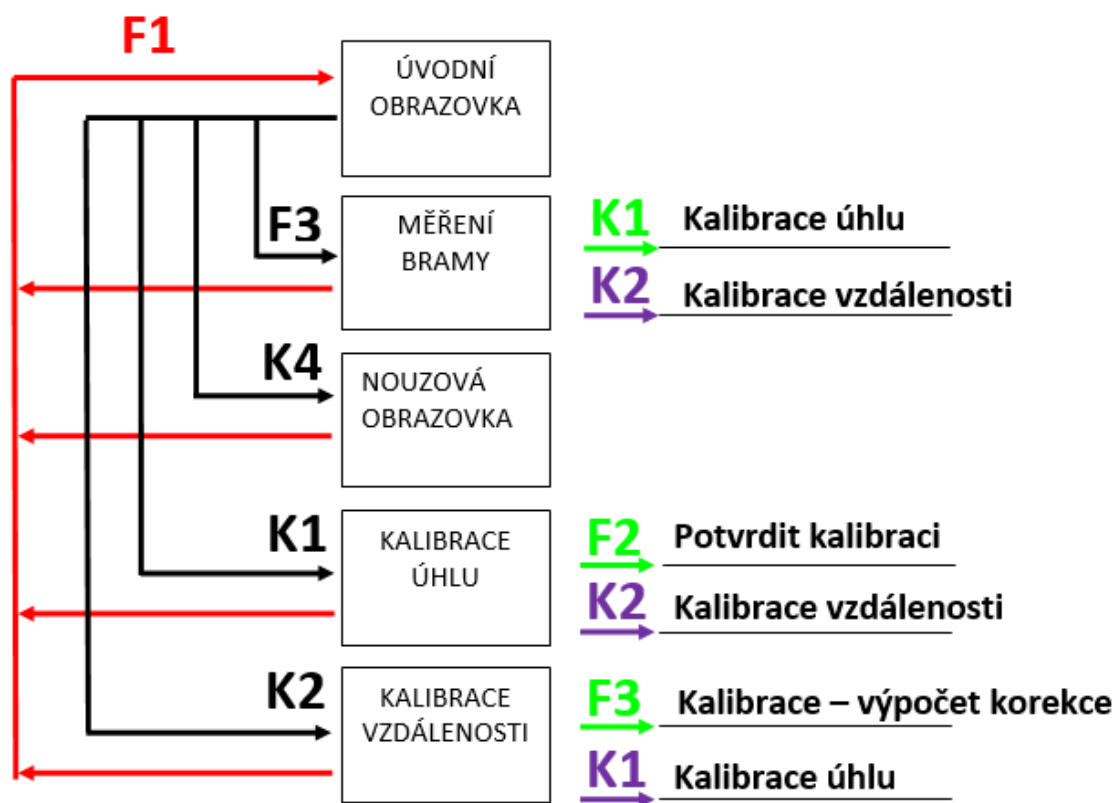


Obr. 6.4 diagram přístupu k systému měření bram

### 6.3.1 Uživatelského rozhraní pro operátory řízení

Uživatelské rozhraní pro operátory řízení je tvořeno čtyřmi obrazovkami: Obrazovkou pro měření délky bram, kalibraci úhlu, kalibraci vzdálenosti a nouzovou obrazovkou. Obrazovky jsou navrženy tak aby byla obsluha pálicího stroje při měření bram pomocí laseru co možná nejjednodušší, nejdýstřednější a nejintuitivnější. Je to tak proto, že obsluha pálicího stroje se často mění anebo naopak operátoři dlouho se systémem nepracovali.

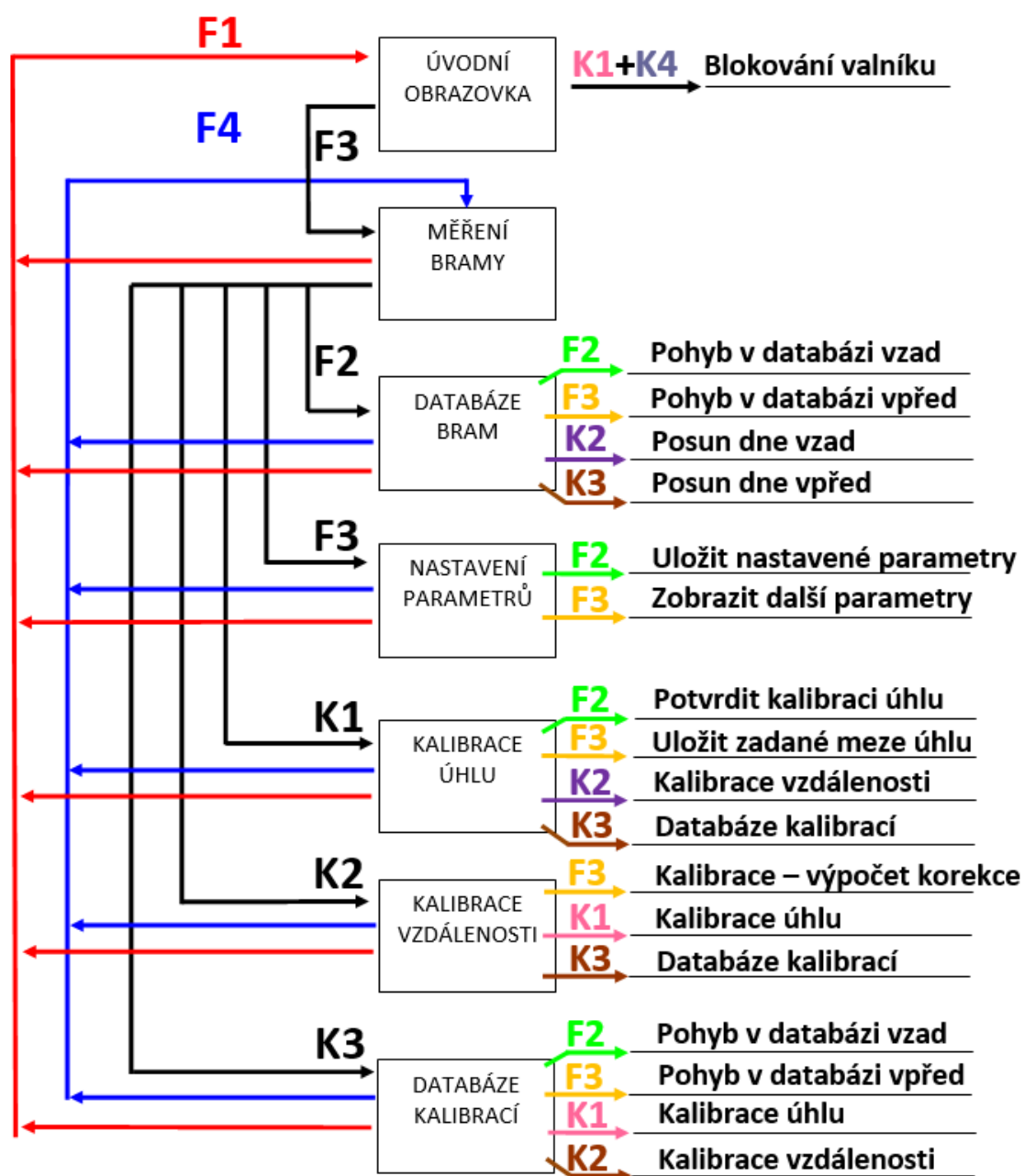
Přístup na všechny obrazovky související se systémem měření bram je umožněn po stisknutí specifické klávesy z úvodní obrazovky pálicího stroje MESSER a návrat pak po stisknutí klávesy F1. Konkrétní klávesy pro přechod mezi obrazovkami a specifické funkce na jednotlivých obrazovkách znázorňuje diagram na Obr. 6.4.



Obr. 6.5 diagram obrazovek operátorského panelu v kabině operátorů řízení

### 6.3.2 Uživatelského rozhraní pro servisní operátorský panel

Servisní operátorský panel je umístěn na dveřích rozvaděče systému pálicího stroje, ve kterém je umístěn i řídicí systém S7-400. Servisní panel, jak už vyplývá z názvu, slouží hlavně pro servis a dohled nad procesem dělení bram. Kromě stejných funkcí panelu operátorů řízení umožňuje nastavovat a měnit parametry, prohlížet databázi uřezaných bram a korekcí posledních kalibrací. Aby byl znemožněn pohyb bramy při zapnutí hořáků pálicího stroje, je možno z úvodní obrazovky pomocí kláves K1+K4 blokovat pohon valníku.



Obr. 6.6 diagram obrazovek servisního operátorského panelu

## 7 Testování systému a srovnání naměřených výsledků s teoretickými předpoklady

V této kapitole budou dále rozvedeny podmínky, rozsah, provedení a způsob vyhodnocení komplexních zkoušek zařízení pro měření sekundárních bram. Tyto zkoušky byly úspěšně provedeny před předáním zařízení koncovému odběrateli. Komplexní zkoušky se skládají ze statické zkoušky přesnosti zařízení, zkoušky funkčnosti systému a provozní zkoušky. Zařízení musí být schopno za deklarovaných podmínek stálého provozu měřit sekundární bramy s maximálně 5mm odchylkou oproti ručnímu měření od místa dopadu laserového paprsku. Tato přesnost vyžaduje přesně seřízený systém, pravidelnou kalibraci, udržování čistoty optického zařízení a dodržování pokynů zhotovitele. Na závěr kapitoly je uvedena také úspora materiálu v rámci 10 dnů běžného provozu, která byla vypočítána z údajů databáze.

### 7.1 Statická zkouška přesnosti zařízení

Statická zkouška přesnosti zařízení slouží k ověření deklarované přesnosti měřicího systému. Zkouška se provádí na 2 upravených primárních bramách (etalonech) bez použití procesu pálení. Upravená brama má na svém čele navařen rovný plech tak, aby bylo možné provést co nejpresnější měření délky od čela bramy po „referenční rovinu řezu“. Referenční rovina řezu je stanovena pomocí provázků nataženého přes středy pálicích hořáků co nejbližší k povrchu bramy. Šířka zkušební bramy byla 1000 mm a 1800 mm.

Je provedeno celkem 20 měření (2x10) při postupném najíždění upravené bramy v měřicí oblasti.

n	145 x 1000 (tl. x š.)			250 x 2000 (tl. x š.)		
	L <sub>SNÍMAČ</sub> [mm]	L <sub>PÁSMO</sub> [mm]	ΔL [mm]	L <sub>SNÍMAČ</sub> [mm]	L <sub>PÁSMO</sub> [mm]	ΔL [mm]
1	1713	1712	1	1709	1709	0
2	2000	2000	0	1957	1956	1
3	2317	2316,5	0,5	2350	2350	0
4	2523	2523,5	-0,5	2600	2600	0
5	2738	2737	1	2679	2681	-2
6	2832	2833	-1	2850	2853	-3
7	2965	2965	0	2962	2963	-1
8	3015	3017	-2	3030	3031	-1
9	3149	3149	0	3140	3140	0
10	3314	3316	-2	3295	3297	-2

Tab. 7.1 naměřená data při statické zkoušce přesnosti

výsledek každého měření je porovnán s výsledkem měření systému na displeji v ovládací kabině haly 5. Zkouška je hodnocena jako úspěšná, pokud se 100% výsledků měření nachází v oblasti deklarované přesnosti zařízení tj.  $\pm 5\text{mm}$ .

## 7.2 Zkouška funkčnosti systému

Zkouška funkčnosti systému slouží k ověření všech funkcí systému v operačním cyklu pálení. Zkouška je provedena na 3 upravených primárních brámách různých šířek, použitých taktéž u statické zkoušky. Zkouška je provedena bez použití procesu pálení za následujících podmínek.

- s každou upravenou brárou jsou provedeny 3 zkoušky (celkem 9) pro různé délky nastavení v rozmezí 1 700 – 3 300mm
- každá tato zkouška zahrnuje celý cyklus od nájezdu bramy do polohy řezu, nájezd hořáku vč. odsunu bramy za polohy optických závor
- při této zkoušce není zapálen hořák a brama není rozdělena
- při každém cyklu této zkoušky zástupci objednatele a zhotovitele kontrolují probíhající funkce systému

Zkouška je hodnocena jako vyhovující, když u všech zkoušek cyklů pálení proběhnou všechny funkce systému správně dle dodavatelské dokumentace.

## 7.3 Provozní zkouška spolehlivosti systému

Provozní zkouška spolehlivosti slouží k ověření dlouhodobé funkčnosti celého měřicího systému v plných provozních podmínkách. Zkouška se provádí v délce 12 hodin v rámci pracovní směny a při pálení bram určených k válcování.

V průběhu měření je provedena kalibrace systému měření. Zkouška probíhá na brámách různých rozměrů, přičemž každá upálená brama je proměřena. Měření se uskutečňuje kolmo na dělicí rovinu z místa osvit laserového paprsku, která je vyznačena při zahájení pálení bramy. Naměřená hodnota je porovnávána s hodnotou zobrazenou na displeji OP v okamžiku zahájení pálení bramy. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce naměřených hodnot.

Č. TAVBY	Č. BRAMY	ROZMĚR	L <sub>SNÍMAČ</sub> [mm]	L <sub>PÁSMO</sub> [mm]	ΔL [mm]	POZNÁMKA
35268	12	300 x 1 800	2 463	2 461	2	
36218	21	300 x 1 800	3 291	3 294	-3	skarfované čelo
36218	22	300 x 1 800	2 452	2 452	0	
35318	31	300 x 1 800	3 291	3 295	-3	skarfované čelo
35318	32	300 x 1 800	2 451	2 450	1	
36301	51	300 x 1 800	2 580	2 580	0	
36302	31	300 x 1 800	2 980	2 983	-3	vlnka po pálení
36312	31	300 x 1 800	3 261	3 261	0	
36312	32	300 x 1 800	2 621	2 619	2	
36312	51	300 x 1 800	2 941	2 944	-3	vlnka po pálení
36312	52	300 x 1 800	3 080	3 076	3	vlnka po pálení
36314	31	300 x 1 800	2 962	2 962	0	
36314	32	300 x 1 800	3 000	3 000	0	
36314	21	300 x 1 800	3 201	3 202	-1	
36314	22	300 x 1 800	2 631	2 629	2	
36315	21	300 x 1 800	3 201	3 203	-2	
36315	22	300 x 1 800	2 775	2 772	3	vlnka po pálení
36315	41	300 x 1 800	3 012	3 015	-3	vlnka po pálení
36315	42	300 x 1 800	2 815	2 815	0	
36314	41	300 x 1 800	2 621	2 622	-1	
36314	42	300 x 1 800	3 330	3 329	1	
36314	11	300 x 1 800	2 430	2 432	-2	vlnka po pálení
36314	12	300 x 1 800	3 051	3 050	1	
36311	21	300 x 1 800	3 021	3 024	-3	vlnka po pálení
36311	22	300 x 1 800	2 881	2 879	2	vlnka po pálení
36311	31	300 x 1 800	2 881	2 884	-3	vlnka po pálení
36311	32	300 x 1 800	3 021	3 020	1	
23645	51	145 x 1300	2 530	2 532	-2	vlnka po pálení
23645	52	145 x 1300	2 530	2 531	-1	

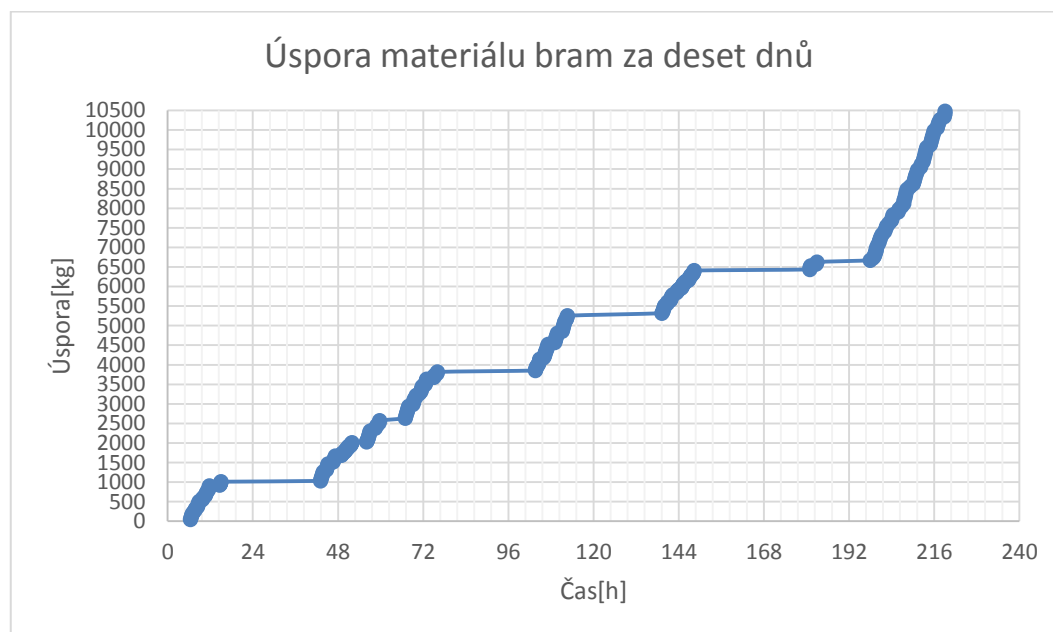
Tab. 7.2 naměřená data při provozní zkoušce spolehlivosti systému

## 7.4 Úspora materiálu

Primárním cílem modernizace pálicího stroje MESSER je zpřesnění metody měření bramy, což v konečném důsledku znamená významné úspory kovu. Před instalací měřicího systému se na bramu pomocí pásma a pravítka vytvoří ryska. Nepřesnost této metody je okolo 20mm, poněvadž se k naměřené hodnotě ještě něco připočte, aby nedocházelo k situaci, kdy je brama



po uřezání kratší než požadavek výroby. Instalaci laserového měřicího systému je garantována přesnost  $\pm 5\text{mm}$ . Prakticky je ale při ustavování čidla do měřicí polohy snaha nastavit systém tak, že je změřený údaj o 0-5mm větší než změřená hodnota pásmem. Dle provozní zkoušky je patrné že údaj změřený čidlem je s odchylkou  $\pm 3\text{mm}$  oproti pásmem změřené hodnotě. Při měření pásmem se na hořáky připevní v ose řezu struna, která indikuje počáteční bod měření). Pokud se vychází z tohoto předpokladu, dochází ke zpřesnění měření o 17mm. Z údajů databáze, změřených bram za posledních 10 dnů, byla je vypočtena úspora materiálu viz. Obr.7.1. Úspora materiálu za 10 dní přesahuje hodnotu 10t, z čehož vyplývá, že se denní úspora pohybuje asi kolem 1000kg.



*Obr.7.1 úspora materiálu za 10 dní provozu systému*

## 8 Zhodnocení dosažených výsledků práce

Diplomová práce popisuje všechny fáze úspěšné realizace systému pro přesné měření délky sekundárních bram. Nejprve jsem se zaměřil na analýzu požadavků na systém měření a výchozích údajů vyplývajících z prostředí a stávající technologie provozu. Poté jsem provedl výběr vhodného bezkontaktního snímače vzdálenosti na základě rozboru principů a vlastností aktuálních snímačů na trhu. Shrnutím teoretických předpokladů vznikla realizační studie a návrh systému, který se zaimplementoval do stávajícího systému pálicího stroje MESSER. Po schválení studie koncovým odběratelem nejdříve proběhla přípravná fáze – doplnění stávajících elektrotechnických schémat a elektroinstalace vodičů potřebných pro systém měření. Poté následovala fáze montáže a naprogramování systému - tak aby byl součástí programu pálicího stroje ale neměl negativní vliv na současnou funkci zařízení.

Po naprogramování systému byla provedena statická zkouška přesnosti zařízení, kdy byl na speciálně upravených bramách s rovným čelem umístěn referenční bod řezu a brama se umístila tak aby se referenční bod nacházel v ose řezu. Poté byly srovnávány údaje zobrazované na panelu v kabině operátora s ručním měřením délky bramy od čela po referenční bod. Aby byla hodnocena jako úspěšná, muselo se 100% výsledků měření nacházet v oblasti deklarované přesnosti  $\pm 5\text{mm}$ .

Poté byla provedena zkouška funkčnosti systému, která slouží k ověření všech funkcí systému v operačním cyklu pálení. Zkouška byla provedena na 3 upravených primárních bramách různých šířek, které byly použity u statické zkoušky. Při zkoušce nebyly spuštěny hořáky. S každou upravenou bramou byly provedeny 3 zkoušky (celkem 9) pro různé délky nastavení v rozmezí 1 700 – 3 300mm. Každá tato zkouška zahrnovala celý cyklus od nájezdu bramy do polohy řezu, nájezd hořáku včetně odsunu bramy za polohy optických závor. Při každém cyklu této zkoušky zástupci objednatele a zhotovitele kontrolovali probíhající funkce systému.

Nakonec byla provedena provozní zkouška spolehlivosti systému, která sloužila k ověření dlouhodobé funkčnosti celého měřicího systému v plných provozních podmínkách. Před zahájením zkoušky bylo zhotovitelem ve spolupráci s objednatelem a odběratelem provedeno nastavení a kalibrace systému měření tak, aby délka výsledné upálené bramy odpovídala délce na displeji systému (včetně prořezu při pálení bramy). Zkouška byla provedena v délce jedné pracovní směny v rámci pálení bram určených k válcování.

Součástí dodávky měřicího systému bylo také dodání výkresové dokumentaci, aktualizace obvodových schémat pálicího stroje MESSER o doplněné prvky a vytvoření manuálů pro operátora kabiny i pro servis a obsluhu. Vytvořené manuály jsou součástí přílohy. Všechny zkoušky vyhověly požadavku přesnosti  $\pm 5\text{mm}$  a tudíž byly úspěšné. Měřicí systém byl seřízen a nastaven tak že výsledná odchylka měření dosahuje hodnot  $\pm 3\text{mm}$ , což je jen o 1 milimetr menší přesnost než přesnost udávaná výrobcem laserového dálkoměru pro použitý rozsah měření a okolní teplotu.

V rámci záruční doby na předané zařízení byly řešeny dva servisní zásahy, kdy systém neplnil svoji funkci. Při první zásahu bylo zjištěno, že systém neměří vlivem nemožnosti kalibrace. To bylo způsobeno ohnutím kalibračního terčíku, na něž dopadal laserový paprsek pod příliš velkým úhlem, což znemožňovalo zpětnému odrazu a vyhodnocení vzdálenosti. Servisní obsluha toto vyhodnotila jako znečištění optiky laserového snímače a vlivem nesprávného čištění se laserový paprsek nedostal přes krycí sklíčko laseru. Tento problém byl vyřešen správným ustavením kalibračního terčíku a vyčištěním krycího sklíčka. Druhý servisní zásah vykazoval vypadávání napájecího napětí snímače pouze v některé části dráhy měření. Bylo zjištěno, že při instalaci brzd pro pojezdy válců nebyla dodržena elektromagnetická kompatibilita cívek stykačů brzd a napájecího zdroje měřicí části. Tím vznikalo přepětí, které nebyl snímač schopen stabilizovat, a proto bylo napájení automaticky odpojeno. Odstranění této poruchy bylo provedeno pomocí nezávislého napájecího zdroje laserového senzoru. Oba tyto servisní zásahy byly zdárně vyřešeny a pochybení nebylo na straně zhotovitele systému pro měření bram.

## Citace literatury

- [1] BALLUFF S.R.O. *Kapacitní snímače* [online]. [cit. 2014-01-18]. Dostupné z: <http://www.s-d-a.sk/balluff/pdf/kapacitne/bcs-principy.pdf>
- [2] BENEŠ, Pavel, a další. *Automatizace a automatizační technika III: Prostředky automatizační techniky*. Brno : Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-248-3.
- [3] MICRO EPSILON. *Magneto-indukční senzory* [online]. [cit. 2014-01-18]. Dostupné z: <http://www.micro-epsilon.cz/displacement-position-sensors/magneto-inductive-sensor/index.html>
- [4] Martinek, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vydání. Praha: nakladatelství BEN technická literatura, 2004. p. 199. ISBN 80-7300-114-4.
- [5] *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2003, roč. 2003, č. 03. ISSN 1210-9592. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=28748](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28748)
- [6] RMT S.R.O. *Moderní trendy měření* [online]. 2013 [cit. 2014-01-18]. Dostupné z: [www.odpadoveforum.cz/OF2013/DVD/dokumenty/prispevky/129.pdf](http://www.odpadoveforum.cz/OF2013/DVD/dokumenty/prispevky/129.pdf)
- [7] Porovnání laserových a ultrazvukových dálkoměrů. HUŠEK, Miloš. QTEST. *QTEST Měřicí a přístrojová technika* [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: <http://www.qtest.cz/laserove-dalkomery/porovnani-laser-ultrazvuk.htm>
- [8] Instruction Manual optoNCDT ILR 1183, MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co.KG, Ortenburg, 2008
- [9] JENOPTIK AG. Instruction Manual LDM 41/42/43[online].2014 [cit.2014-03-20]. Dostupné z: [http://www.jenoptik.com/cms/products.nsf/0/03407E6F64554725C1257B4B006D9EC0/\\$File/ldm\\_414243\\_en\\_web.pdf?Open](http://www.jenoptik.com/cms/products.nsf/0/03407E6F64554725C1257B4B006D9EC0/$File/ldm_414243_en_web.pdf?Open)
- [10] GROSMAN, Ing. Josef. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *ŘPS - PROFIBUS*. Liberec. Dostupné z: [file:///D:/Downloads/P07\\_Profibus%20\(3\).pdf](file:///D:/Downloads/P07_Profibus%20(3).pdf)
- [11] FELSER. INSTITUTE FOR MOBILE COMMUNICATIONS PROFIBUS KOMPETENZ UND TRAININGSZENTRUM. *Structure of GSD files* [online]. 2013 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: [http://profibus.felser.ch/en/index.html?gsd\\_dateien.htm](http://profibus.felser.ch/en/index.html?gsd_dateien.htm)
- [12] SIEMENS. *STEP 7 Professional* [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=bfadced791&ctxp=home>

- [13] KOZIOREK, Jiří. *Distribuované systémy řízení*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2011. ISBN 978-80-248-2599-1.
- [14] BERGER, Hans. *Automating with STEP 7 in STL and SCL: programmable controllers SIMATIC S7-300/400*. 5th rev. and enlarged ed. Erlangen: Publicis Pub., 2009. ISBN 978-389-5783-418.
- [15] SIEMENS AG. SIMATIC HMI WinCC flexible 2008 Getting Started First – Time – Users [online] . 2011 [cit. 2014-03-21]. Dostupné z:  
[http://www.siemens.com.au/files/Productivity/PC/Automation/Documents/pr\\_auto\\_wincc\\_flexible\\_getting\\_started\\_poweruser.pdf](http://www.siemens.com.au/files/Productivity/PC/Automation/Documents/pr_auto_wincc_flexible_getting_started_poweruser.pdf).

## Seznam obrázků

Obr. 2.1 pálicí stroj MESSER v areálu EVRAZ Vítkovice Steel .....	2
Obr. 2.2 blokové schéma pálicího stroje MESSER .....	3
Obr. 3.1 tvar siločar při nepřítomnosti předmětu [1] .....	5
Obr. 3.2 princip snímače s potlačeným magnetickým polem .....	6
Obr. 3.3 blokové schéma snímače s potlačeným magnetickým polem[3] .....	7
Obr. 3.4 magneto-indukční snímač polohy [3] .....	7
Obr. 3.5 blokové schéma ultrazvukového snímače [4] .....	8
Obr. 3.6 laserový senzor na principu doby letu světelného paprsku [6] .....	8
Obr. 3.7 laserový senzor na principu triangulace [6] .....	9
Obr. 3.8 laserový snímač ILR1183 .....	12
Obr. 3.9 laserový snímač LDM43 .....	13
Obr. 4.1 metoda měření délky bramy .....	14
Obr. 4.2 blokové schéma systému pro přesné měření délky bramy .....	16
Obr. 4.3 systém pro měření bram po implementaci k pálicímu stroji MESSER .....	16
Obr. 4.4 struktura PROFIBUS DP .....	17
Obr. 5.1 struktura programu .....	19
Obr. 5.2 hardwarová konfigurace po začlenění snímače do stávajícího systému .....	21
Obr. 5.3 konfigurační data senzoru ILR 1183 .....	22
Obr. 5.4 diagnostika při nenavázané komunikaci .....	23
Obr.5.5 diagram návrhu funkce pro zpracování dat získaných laserovým snímačem .....	24
Obr.5.6 diagram návrhu funkce procesů a stavů při měření bramy .....	24
Obr. 5.7 diagram pro návrh kalibrace .....	25
Obr. 5.8 struktura programu realizovaná v programu Step 7 .....	26
Obr. 5.9 použití speciálních systémových funkcí v programu Step 7 .....	27
Obr. 5.10 rozhraní pro komunikaci se snímačem ILR1183 v programu Step 7 .....	27
Obr. 5.11 struktura databáze korekcí v datovém bloku DB212 .....	29
Obr. 5.12 způsob zápisu do paměťových bloků databáze .....	29
Obr. 5.13 struktura databáze bram v datovém bloku DB200-209 .....	30
Obr. 6.1 multifunkční operátorský panel OP77B .....	31
Obr. 6.2 winCC flexible:hlavní okno programu .....	32
Obr. 6.3 winCC flexible:tvorba a úprava tagů .....	33
Obr. 6.4 diagram přístupu k systému měření bram .....	34
Obr. 6.5 diagram obrazovek operátorského panelu v kabině operátorů řízení .....	35
Obr. 6.6 diagram obrazovek servisního operátorského panelu .....	36
Obr.7.1 úspora materiálu za 10 dní provozu systému .....	40

## Seznam tabulek

Tab. 3.1 porovnání parametrů bezkontaktních snímačů .....	10
Tab. 3.2 porovnání parametrů laserových snímačů.....	10
Tab. 3.3 shrnutí vlastností ultrazvukového a laserového měření vzdálenosti .....	11
Tab. 5.1 možnosti profilu pro enkodér .....	21
Tab. 7.1 naměřená data při statické zkoušce přesnosti .....	37
Tab. 7.2 naměřená data při provozní zkoušce spolehlivosti systému .....	39

## Seznam příloh

A. Návod na obsluhu operátorského panelu OP77B pro operátory řízení	I-XII
B. Fotodokumentace	XIII-XVII
C. Výkres – dispozice umístění měření bram	XVIII
D. Výkres – blokové schéma zapojení a řízení odměřovacího zařízení	XIX
E. Příloha na CD:	
• projekt systému pro měření sekundárních bram v programu Step 7	
• vizualizace systému pro měření sekundárních bram v programu WinCC flexible	
• výpis programových struktur ve formátu pdf	
• manuál k laserovému senzoru ILR1183	
• text práce	